



**SpectraLab**  
**467 250**



**SpectraLab**  
**467 250**

## Copyright

Die freigeschaltete Software darf nur vom Käufer und ausschließlich zum Gebrauch für den von der Schule oder Institution erteilten Unterricht genutzt werden! Das schließt die Nutzung für die häusliche Vorbereitung ein.

Es ist unzulässig, den Freischaltcode an Kollegen anderer Schulen oder Institutionen weiterzugeben.

Die Firma LD DIDACTIC GmbH behält sich gerichtliche Schritte bei Verstößen gegen diese Regelung vor.

## Handbuchautoren

Dr. Claudia Schramm

Dr. Michael Hund

Dr. Karl-Heinz Wietzke

## Stand

18.09.2013

## Inhaltsverzeichnis

<b>Einleitung</b> .....	<b>6</b>
<b>Kompakt-Spektrometer</b> .....	<b>7</b>
<b>SpectraLab</b> .....	<b>8</b>
Datei-Menü .....	10
Spektrum-Menü .....	10
Einstellungen-Menü .....	11
Tabellen-Menü .....	12
Diagramm-Menü .....	13
Kinetik .....	16
Hilfe-Menü .....	16
Offset $I_0$ .....	17
Intensität $I_1 = I - I_0$ .....	17
Referenz $I_2 = I - I_0$ .....	17
Transmission $T = I_1/I_2$ .....	17
Extinktion $E = -\log(I_1/I_2)$ .....	17
Dämpfung $a = -10 \cdot \log(I_1/I_2)$ .....	17
Kalibrierung .....	18
Spektrometerempfindlichkeit $I_2$ .....	19
Relative Intensität $I_3 = I_1/I_2$ .....	19
<b>Versuchsbeispiele</b> .....	<b>20</b>
Transmissionsspektren farbiger Gläser .....	21
Transmissions- und Fluoreszenzspektren farbiger Flüssigkeiten .....	23
Reflexionsspektren verschiedener Materialien .....	26
Aufnahme der Fraunhoferschen Linien .....	28
Aufnahme der Emissionsspektren bei einer Flammenfärbung .....	30
Emissionslinien von Gasentladungslampen .....	32
Spektren einer Glühlampe und einer Energiesparlampe .....	34
Absorptionsspektrum eines Lichtwellenleiters .....	36
Untersuchung des Wienschen Verschiebungsgesetzes .....	38
Extinktionsspektrum einer Kristallviolett-Lösung .....	40
Entfärben von Kristallviolett mit Natronlauge .....	42
Extinktionsspektren von Lebensmittelfarbstoffen .....	45
Absorption/Reflektion von UV-Licht durch Sonnenschutzmittel .....	47
<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>49</b>

## Einleitung

Dieses Handbuch soll einen Überblick über die Möglichkeiten der Software SpectraLab geben. Es ist textidentisch mit den Hilfen, die auch im Programm praktisch jederzeit per Mausklick erreichbar sind.

### Installation

Die Installation besteht aus zwei Teilen.

#### a) Installation der Software SpectraLab

Die Installation der Software erfolgt entweder

- automatisch nach Einlegen der CD-ROM oder
- manuell durch Start der Datei **setup.exe**

und durch Befolgen der Bildschirmmitteilungen.

Falls erforderlich wird bei der Softwareinstallation das Microsoft .NET Framework 2.0 installiert.

#### b) Installation des Spektrometer-Treibers

Das Spektrometer benötigt die Installation eines Treibers, der auf der CD im Unterverzeichnis Driver enthalten ist. Windows sucht nach dem Anschluss des Spektrometers an den PC selbst den Treiber auf der CD.

## Kompakt-Spektrometer

Das Kompakt-Spektrometer dient zur zur rechnergestützten Aufnahme von Emissions- und Absorptionsspektren. Lichteintritt über frei bewegbare Lichtleitfaser.

Das Licht wird im Inneren des Spektrometers durch ein feststehendes Gitter zerlegt und auf ein Silizium-CCD-Array abgebildet. Es wird somit simultan bei allen Wellenlängen die Intensität gemessen, so dass auch schnell veränderliche Prozesse wie eine Flammenfärbung bequem aufgenommen werden können.

Der Küvettenhalter mit eingebauter Lichtquelle erlaubt die bequeme Untersuchung der Absorptionsspektren flüssiger Substanzen.

Für Absorptionsmessungen wird zunächst ein Referenzspektrum aufgenommen, dann eines mit dem zu untersuchenden Absorber im Strahlengang. Aus dem Verhältnis berechnet die Software Werte wie Transmission, Extinktion und nach Kalibrierung auch die Konzentration.

Typische Experimente sind Emissionsspektren, z. B. bei Gasentladungen, Flammenfärbungen, Fraunhoferlinien im Spektrum der Sonne, wiensches Verschiebungsgesetz, Spektren von Leuchtdioden oder Absorptionsspektren zusammen mit externer Lichtquelle, z. B. Photometrie, Reaktionskinetik, Absorption an Filtern, Natriumdampf.

Mit Faserhalter (460 251) auch auf einer Optischen Bank einsetzbar.

### Technische Daten der Spektrometer

	<b>467 251 oder aus 467 252</b>	<b>467 261 oder aus 467 262</b>
Aufbau:	Czerny-Turner	Czerny-Turner
Detektor:	Silizium-CCD-Array	Silizium-CCD-Array
Wellenlängenbereich:	350 - 1000 nm	200 - 850 nm
Auflösung:	1 nm	1 nm
Integrationszeit:	3 - 1000 ms	3 - 1000 ms
Rechneranschluss:	USB-Port	USB-Port
Spannungsversorgung:	USB-Port	USB-Port
Faseranschluss:	SMA 905	SMA 905
Abmessungen:	89 mm x 63 mm x 34 mm	89 mm x 63 mm x 34 mm
Masse:	190 g	190 g

### Technische Daten der Lichtquellen

	<b>aus 467 252</b>	<b>aus 467 262</b>
Lichtquelle:	Wolfram-Glühbirne + blaue LED	Deuterium/Wolfram
Wellenlängenbereich:	390 - 1000 nm	200 - 850 nm
Rechneranschluss:	über Spektrometer	über Spektrometer
Spannungsversorgung:	über Spektrometer	über seperates Netzteil (im Lieferumfang enthalten)
Abmessungen:	89 mm x 41 mm x 34 mm	89 mm x 78 mm x 34 mm
Masse:	130 g	200 g

### Lieferumfang

- 1 Spektrometer
- 1 Software
- 1 Lichtleitfaser
- 1 Küvettenhalter mit Lichtquelle (nur in 467 252 und 467 262 enthalten)

### Zubehör

Faserhalter (460 251)

## SpectraLab

[? Versuchsbeispiele](#)

### Einführung

SpectraLab unterstützt die [Kompakt-Spektrometer](#) (467 251, 467 252, 467 261 und 467 262) sowie das Ocean Optics USB650 / USB2000.

### Freischaltcode

Für den Einsatz von SpectraLab mit einem Spektrometer ist ein 24-stelliger Freischaltcode erforderlich. Dieser Freischaltcode ist auf dem Lieferschein und der Rechnung unter der Nummer 467 250 zu finden und muss zusammen mit dem dort angegebenen Namen einmal eingegeben werden. Danach ist die Software freigeschaltet. Bitte beachten Sie unser [Copyright](#).

Sollte Ihnen der Freischaltcode fehlen, faxen Sie bitte die Rechnung über das Kompakt-Spektrometer (467 251, 467 252, 467 261 oder 467 262) oder die Software SpectraLab (467 250) an +49-2233-604607. Es wird Ihnen dann sobald wie möglich Ihr Freischaltcode zurückgefaxt.

Auch zukünftige Versionen, die beispielsweise im Internet bereitgestellt werden, nutzen diese Freischaltung. Auch Updates sind damit uneingeschränkt verwendbar.

### Messung des ersten Spektrums

Wird beim Start der freigeschalteten Software ein Spektrometer erkannt oder es nach dem Start der Software an den Computer angeschlossen, werden automatisch die aktuell gemessenen Spektren angezeigt.

Diese Spektren sind bereits bezüglich der Wellenlänge (x-Achse) kalibriert. Die angezeigten Intensitäten (y-Achse) hängen jedoch von mehreren Faktoren ab.



⊖ Integrationszeit (kleinere Zeiten → kleinere Intensitäten, größere Zeiten → größere Intensitäten)

💡 Lichtquelle (wenn eine angesteckte Lichtquelle verwendet wird, kann sie eingeschaltet werden)

⚙️ Weitere Einstellungen

Andere Einstellungen, wie z. B. der Offset oder die Referenzmessung werden über verschiedene Darstellungen realisiert, die über Karteireiter auswählbar sind:

- [Offset I0](#)
- [Intensität I1 = I-I0](#)
- [Referenz I2 = I-I0](#)
- [Transmission T = I1/I2](#)
- [Extinktion E = -log\(I1/I2\)](#)
- [Kalibrierung](#)
- [Kinetik](#)

Wählt man in den [⚙️ Einstellungen → Weitere Einstellungen](#) die Darstellungen **Transmission/Dämpfung** bzw. **Relative Intensität**, dann werden die weiteren Darstellungen

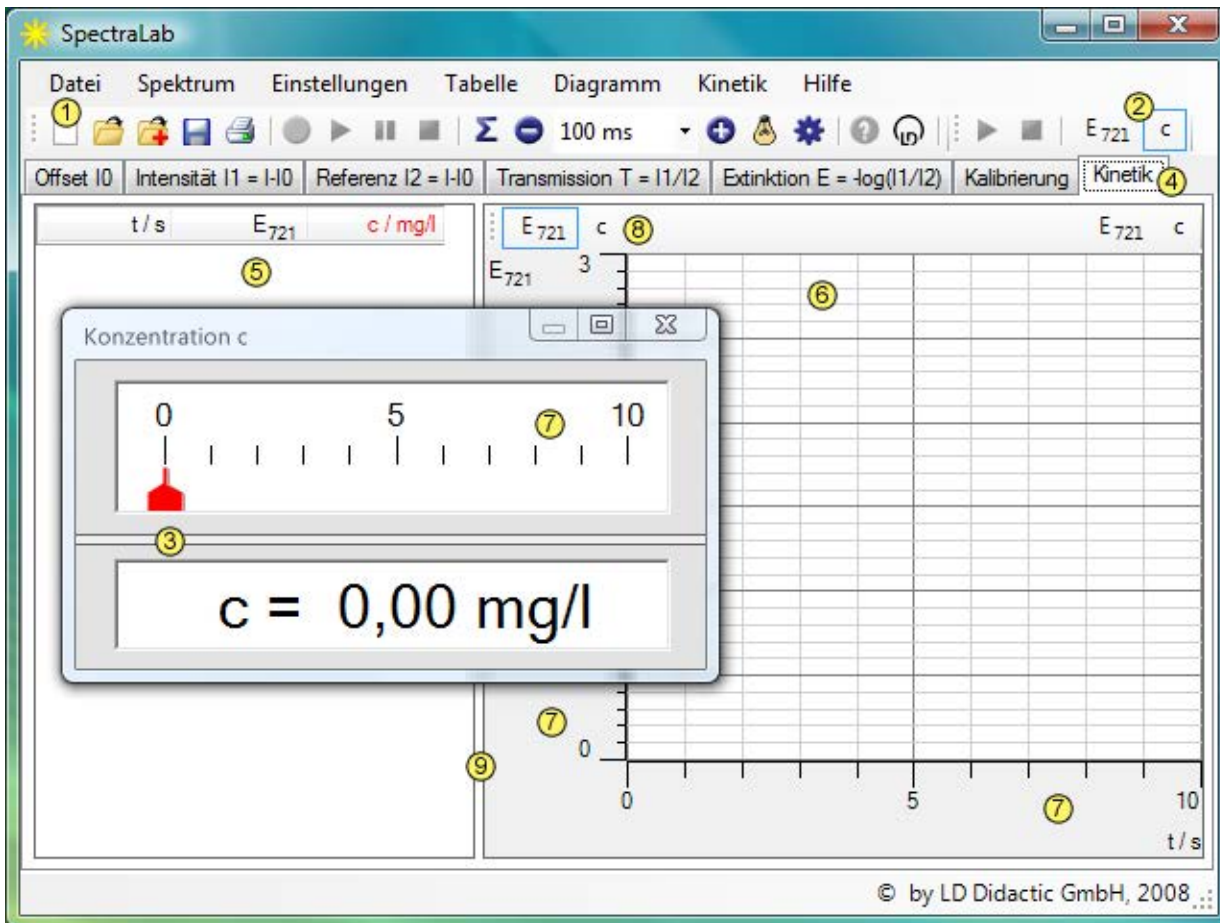
- [Dämpfung a](#)

bzw.

- [Spektrometerempfindlichkeit I2](#)
- [Relative Intensität I3 = I1/I2](#)

auswählbar.





Die grundsätzlichen Funktionen lassen sich gezielt mit dem Hauptmenü und den Tool-Buttons ① ausführen:

[Datei](#) [Spektrum](#) [Einstellungen](#) [Tabelle](#) [Diagramm](#) [Kinetik](#) [Hilfe](#)

Darunter lässt sich durch Anklicken einer der Darstellungsseiten ④ die Darstellung der Tabelle ⑤ und des Diagramms ⑥ umschalten. Tabelle und Diagramm können gegeneinander durch Verschieben der Trennlinie ⑨ mit der Maus vergrößert oder verkleinert werden.

An vielen Stellen haben **beide** Maustasten (links und rechts) eine entscheidende Funktion:

Bedienelement	Linke Maustaste	Rechte Maustaste
① Hauptmenü und Tool-Buttons	Auswahl eines Menüpunktes	
② Kinetik-Buttons	Öffnen und Schließen des Anzeigeinstruments, Drag & Drop nach ⑤ bis ⑧ bei der Kinetik-Darstellung	
③ Kinetik- Anzeigeinstrument	Verschieben der Trennlinie Analog- zu Digitalanzeige, Drag & Drop der Werte nach ⑤ und ⑥	
④ Name der Darstellung	Umschalten in eine andere Darstellung	
⑤ Tabelle	Eingabe von Kalibrierwerten, Drag & Drop der Werte innerhalb der Tabelle oder der Kinetik-Kanäle nach ②	<a href="#">Löschen von Messreihen</a> , Darstellung der Tabelle, z. B. <a href="#">Schriftgröße der Tabelle</a>
⑥ Diagramm	Markieren von Auswertungsbereichen	Einstellungen und <a href="#">Auswertungen</a> im Diagramm
⑦ Skala	Verschieben der x-Skala (nur Zeit) oder der y-Skala	
⑧ Achsensymbole	Umschalten der y-Skala, Drag & Drop nach ②	
⑨ Trennlinie	Verschieben der Trennlinie Tabelle zu Diagramm	

## Datei-Menü

### Datei → Neu

Löscht die aufgenommenen Spektren.

### Datei → Öffnen

Lädt Spektren mit ihren [Einstellungen](#) und ihren [Auswertungen](#).

### Datei → Anhängen

Lädt Spektren zusätzlich zu den vorhandenen Spektren. Die neuen Spektren werden als zusätzliche Tabellenspalten rechts an die Tabellen angehängt.

### Datei → Speichern

Speichert die aktuellen Spektren mit ihren [Einstellungen](#) und ihren [Auswertungen](#) ab.

### Datei → Seite einrichten

Legt das Papierformat und die Seitenränder für einen Ausdruck fest.

### Datei → Druckvorschau


Zeigt eine Vorschau des aktuellen Ausdrucks.

### Datei → Drucken

Druckt das aktuelle Diagramm aus.

## Spektrum-Menü

### Spektrum → Spektrum in neuer Spalte speichern

Speichert das aktuelle Spektrum in einer eigenen Spalte. Dadurch ist es möglich, mehrere Spektren gleichzeitig darzustellen. Durch einen längeren Mausklick auf den -Button lassen sich auf einen Rutsch mehrere Spektren hintereinander abspeichern.


### Spektrum → Aufnahme starten

Startet die Aufnahme von Spektren.

### Spektrum → Aufnahme anhalten und fortsetzen

Hält die Aufnahme der Spektren an und setzt sie wieder fort.

### Spektrum → Aufnahme beenden

Beendet die Aufnahme von Spektren und löscht damit das zuletzt angezeigte Spektrum. Wenn das zuletzt angezeigte Spektrum weiterhin dargestellt werden soll, dann muss die Aufnahme stattdessen mit  angehalten werden.

## Einstellungen-Menü

### Einstellungen → Mittelwertbildung

Startet die Mittelwertbildung für das aktuelle Spektrum. Damit lässt sich das Rauschen auf den Spektren verringern, weil sich dadurch die effektive Integrationszeit vergrößert.

### Einstellungen → Integrationszeit

Legt die Integrationszeit des Spektrometers fest. Höhere Integrationszeiten führen zu größeren Intensitäten und kleinere Integrationszeiten führen zu kleineren Intensitäten.

### Einstellungen → Lampe einschalten

Bei angeschlossener Beleuchtungseinheit lässt sich diese ein- und wieder ausschalten. Die UV-Beleuchtungseinheit (aus 467 262) muss dazu extern mit Spannung versorgt werden.

### Einstellungen → Weitere Einstellungen

In diesem Dialogfenster lassen sich die übrigen Einstellungen vornehmen.

Die dargestellte **Messgröße auf der x-Achse** kann zwischen Wellenlänge  $\lambda$  in nm, Energie  $h\nu$  in eV, Wellenzahl  $1/\lambda$  in  $1/\text{cm}$  und Frequenz  $f$  in THz umgeschaltet werden. Dabei werden die Zahlenwerte der x-Achsen entsprechend umgerechnet, aber die y-Achsen behalten ihre Zahlenwerte mit Ausnahme der Spektrometerempfindlichkeit und der davon abhängigen relativen Intensität, die sich ändern, wenn sich die Intervallbreiten der x-Achse ändern.

In der **Darstellung Transmission / Extinktion** sind die Diagramme Referenz, Transmission, Extinktion und Kalibrierung vorhanden. Für die Kalibrierung ist die Angabe der Einheit der Konzentration und der Anzahl der angezeigten Nachkommastellen möglich.

In der **Darstellung Transmission / Dämpfung** sind die Diagramme Referenz, Transmission und Dämpfung vorhanden.

In der **Darstellung Relative Intensität** sind stattdessen die Diagramme Spektrometerempfindlichkeit und Relative Intensität auswählbar. Zur Messung der Spektrometerempfindlichkeit ist die Angabe der Farbtemperatur des verwendeten Referenzstrahlers erforderlich.

Üblicherweise werden die Spektren mit der nativen Auflösung des Spektrometers dargestellt. Durch **Glättung auf 1-nm Auflösung** werden die Spektren gegen die konstante Wellenlängendifferenz von 1 nm dargestellt. Da diese spezifizierte Auflösung geringer ist als die native Auflösung, werden die Spektren dadurch geglättet.

Bei der Aufnahme von mehreren Spektren erhalten diese automatisch neue Farben und farbige Hintergründe. Diese Zuordnung lässt sich für jede Darstellung ändern und auch wieder auf die Standardwerte zurücksetzen.

### Tipp

Auf Rechnern mit langsamer Grafikkarte erhöht sich durch das Ausschalten der farbigen Hintergründe die Darstellungsgeschwindigkeit spürbar.

## Tabellen-Menü

Das Tabellen-Menü öffnet sich auch nach einem Klick mit der rechten Maustaste auf die Tabelle. Einzelne Messwerte lassen sich nach dem Anklicken mit der linken Maustaste ändern oder auf andere Messwertzellen ziehen (Drag & Drop).

### **Tabelle → Tabellenspalte löschen**

Wird das Tabellen-Menü durch Rechtsklick auf den Kopf einer Tabellenspalte geöffnet, dann kann hiermit diese Tabellenspalte gelöscht werden. Die letzte Spektrum einer Serie von Spektren kann nicht gelöscht, sondern nur überschrieben werden.

### **Tabelle → Schriftgröße wählen**

Die Schriftgröße der Tabelle ist einstellbar. Zur Auswahl steht eine kleine, mittlere und eine große Schrift.

### **Tabelle → Tabelle kopieren**

Kopiert die Tabelle als Text in die Zwischenablage von Windows. Dort steht sie dann zur Weiterverarbeitung anderen Windows-Programmen zur Verfügung.

### **Tabelle → Fenster kopieren**

Kopiert das Hauptfenster als Bitmap in die Zwischenablage von Windows. Dort steht es dann zur Weiterverarbeitung anderen Windows-Programmen zur Verfügung.

## Diagramm-Menü

Das Diagramm-Menü öffnet sich auch nach einem Klick mit der rechten Maustaste auf das Diagramm.

### Markieren eines Kurvenbereichs

Für einige Auswertungen ist es erforderlich, einen Kurvenbereich zu markieren, für den die Auswertung berechnet werden soll.

Dazu bewegt man den Mauszeiger bei gedrückter linker Maustaste vom Anfang bis zum Ende des Kurvenbereichs. Alternativ kann auch der Anfangs- und der Endpunkt angeklickt werden.

Während der Markierung des Kurvenbereichs erscheint der markierte Bereich türkis. Das Ergebnis der meisten Auswertungen wird bereits während der Markierung angezeigt.

Soll der Kurvenbereich später noch verändert werden, dann reicht ein Doppelklick auf die Auswertung zum Neufestlegen des Bereichs. Liegt danach der Bereich außerhalb des Diagramm, wird die selektierte Auswertung gelöscht.

### Statuszeile

In die Statuszeile am unteren Bildschirmrand werden die Auswertungsergebnisse eingetragen. Die Auswertungsergebnisse lassen sich mit der Maus aus der Statuszeile in die Tabelle oder das Diagramm ziehen (Drag & Drop). Auf diese Weise lassen sich Diagramme erstellen, die von Auswertungsergebnissen abhängen.

### Diagramm → Koordinaten anzeigen (Alt+K)

Nach dem Einschalten dieser Funktion enthält die [Statuszeile](#) die aktuellen Koordinaten des Mauszeigers, wenn dieser sich in einem Diagramm befindet. Die Koordinatenanzeige ist solange aktiv, bis sie durch die erneute Wahl dieses Menüpunkts wieder ausgeschaltet wird oder eine Auswertungen ihr Ergebnis in die Statuszeile schreibt.

Die aktuellen Koordinaten können auch in das Diagramm geschrieben werden. Dabei muss der Menüpunkt [Text](#) mit Alt+T über die Tastatur aufgerufen werden, ohne die Position des Mauszeigers zu verändern, da sonst die falschen Koordinaten übernommen werden.

### Diagramm → Schriftgröße wählen

Die Schriftgröße der Diagrammachsen ist einstellbar. Zur Auswahl steht eine kleine, mittlere und eine große Schrift.

### Diagramm → Linienbreite wählen

Die Linienbreite für die Anzeige des Diagramms und der darin durchgeführten Auswertungen ist einstellbar. Zur Auswahl stehen schmale, mittelbreite und dicke Linien.

### Diagramm → Raster einblenden

Im Diagramm kann ein Raster aus- und wieder eingeblendet werden.

### Diagramm → Zoomen (Alt+Z)

Nach Aktivierung dieses Menüpunkts, muss der Bereich definiert werden, der vergrößert werden soll. Das geschieht mit der linken Maustaste.

Eine bereits gezoomte Darstellung lässt sich auch weiter zoomen. Ein Zoom kann anschließend durch [Zoom ausschalten](#) wieder zurückgesetzt werden.

### Diagramm → Zoom ausschalten (Alt+A)

Setzt den aktuell gewählten Ausschnitt des Diagramms wieder in seine Ausgangsgröße zurück.

### Diagramm → Markierung setzen

Es stehen vier verschiedene Markierungsfunktionen zur Verfügung. Die Markierungen können durch Doppelklick mit der linken Maustaste auf die jeweilige Markierung editiert bzw. verschoben und wieder aus dem Diagramm gelöscht werden.

Die Farbe der Markierung entspricht der Farbe der aktuell ausgewählten Messkurve.

### Diagramm → Markierung setzen → Text (Alt+T)

Mit der Textfunktion kann das Diagramm an beliebigen Stellen mit frei wählbarem Text beschriftet werden. Nach der Texteingabe ist der Text nur noch an die gewünschte Stelle zu verschieben und mit der linken Maustaste zu platzieren.

**| Diagramm → Markierung setzen → Senkrechte Linie (Alt+S)**

Mit dieser Funktion lassen sich beliebig positionierbare senkrechte Linien in das Diagramm einzeichnen. Die Position wird in der [Statuszeile](#) eingetragen. Eine eventuell dort platzierte [Koordinatenanzeige](#) wird dabei ausgeschaltet.

**— Diagramm → Markierung setzen → Waagerechte Linie (Alt+W)**

Mit dieser Funktion lassen sich beliebig positionierbare waagerechte Linien in das Diagramm einzeichnen. Die Position wird in der [Statuszeile](#) eingetragen. Eine eventuell dort platzierte [Koordinatenanzeige](#) wird dabei ausgeschaltet.

**↘ Diagramm → Markierung setzen → Differenz messen (Alt+D)**

Nach Anklicken eines Bezugspunktes können beliebige Linien in das Diagramm eingezeichnet werden. Die Koordinatendifferenz zwischen Start- und Endpunkt der jeweiligen Linie wird in der [Statuszeile](#) eingetragen. Eine eventuell dort platzierte [Koordinatenanzeige](#) wird dabei ausgeschaltet.

**⊞ Diagramm → Bereich für Kinetik definieren**

Nach Wahl der Bereichsdefinition noch mit der linken Maustaste der [Kurvenbereich](#) gewählt werden, für den der Mittelwert berechnet werden soll. Der Mittelwert wird zusammen mit seinem statistischen Fehler in der [Statuszeile](#) eingetragen. Eine eventuell dort platzierte [Koordinatenanzeige](#) wird dabei ausgeschaltet.

Zusätzlich entsteht ein Anzeigeinstrument, dessen Wert dem aktuell gemessenen Mittelwert im markierten Bereich entspricht. Der Werteverlauf kann aufgezeichnet werden ([Kinetik](#)).

**∞ Diagramm → Mittelwert einzeichnen**

Nach Wahl der Mittelwertberechnung muss noch mit der linken Maustaste der [Kurvenbereich](#) gewählt werden, für den der Mittelwert berechnet werden soll. Der Mittelwert wird zusammen mit seinem statistischen Fehler in der [Statuszeile](#) eingetragen. Eine eventuell dort platzierte [Koordinatenanzeige](#) wird dabei ausgeschaltet.

**⤴ Diagramm → Peaksschwerpunkt berechnen**

Es wird der Schwerpunkt des [markierten Peaks](#) berechnet und in die [Statuszeile](#) eingetragen.

Zusätzlich entsteht ein Anzeigeinstrument, dessen Wert dem aktuell gemessenen Peaksschwerpunkt entspricht. Der Werteverlauf kann aufgezeichnet werden ([Kinetik](#)).

**f(x) Diagramm → Anpassung durchführen**

Es stehen verschiedene Anpassungen zur Verfügung. Nach Wahl der Anpassung muss noch mit der linken Maustaste der [Kurvenbereich](#) gewählt werden, in dem die Anpassung ausgeführt werden soll.

	<b>Diagramm → Anpassung durchführen → Ausgleichsgerade</b>	$y = Ax + B$
	<b>Diagramm → Anpassung durchführen → Ursprungsgerade</b>	$y = Ax$
	<b>Diagramm → Anpassung durchführen → Tangente</b>	$y = Ax + B$
	<b>Diagramm → Anpassung durchführen → Normalparabel</b>	$y = Ax^2$
	<b>Diagramm → Anpassung durchführen → Parabel</b>	$y = Ax^2 + Bx + C$
	<b>Diagramm → Anpassung durchführen → Hyperbel 1/x</b>	$y = A/x + B$
	<b>Diagramm → Anpassung durchführen → Hyperbel 1/x<sup>2</sup></b>	$y = A/x^2 + B$
	<b>Diagramm → Anpassung durchführen → Exponentialfunktion</b>	$y = A \cdot \exp(-x/B)$

 **Diagramm → Anpassung durchführen → Gaußkurven gleicher Breite**

Mit diesem Menüpunkt können Gaußkurven oder Summen von Gaußkurven an das Spektrum angepasst werden.

Das Ergebnis der Gauß-Anpassung ist eine Formel aus mehreren Summanden der Art

$$A \cdot e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}},$$

wobei durch die Anpassung die Parameter A,  $\mu$  und  $\sigma$  bestimmt werden.

Im einfachsten Fall wird genau eine Gaußkurve im [markierten Bereich](#) angepasst. Soll eine Summe aus mehreren Gaußkurven angepasst werden, muss die Anzahl und ungefähre Position der einzelnen Maxima (Peaks) vorgegeben werden. Dies geschieht durch vorher eingezeichnete Markierungen ([Peaksschwerpunkte](#) oder [senkrechte Linien](#)).

**f(x) Diagramm → Anpassung durchführen → Freie Anpassung (Alt+F)**

Bei der freien Anpassung müssen vor der [Bereichsmarkierung](#) die Funktion  $f(x, A, B, C, D)$  und sinnvolle Startwerte angegeben werden. Die Startwerte sollten möglichst realistisch gewählt werden, damit die Anpassung eine gute

Chance auf Erfolg hat. Falls eine Anpassung fehlschlägt, kann sie mit veränderten Startwerten wiederholt werden. Außerdem können einzelne Parameter A, B, C oder D während der Anpassung konstant gehalten werden.

Die aktuellen Parameter der Anpassung (A, B, C und D) werden bei der Anpassung in der [Statuszeile](#) eingetragen. Eine eventuell dort platzierte [Koordinatenanzeige](#) wird dabei ausgeschaltet.

#### **Diagramm → Integral berechnen**

Der Wert des Integrals ergibt sich aus der Fläche, die der mit der linken Maustaste gewählte [Kurvenbereich](#) mit der x-Achse einschließt, bzw. aus der Peakfläche. Der Wert des Integrals wird in der [Statuszeile](#) eingetragen. Eine eventuell dort platzierte [Koordinatenanzeige](#) wird dabei ausgeschaltet.

Zusätzlich entsteht ein Anzeigeinstrument, dessen Wert dem aktuell gemessenen Integral entspricht. Der Werteverlauf kann aufgezeichnet werden ([Kinetik](#)).

#### **Diagramm → Letzte Auswertung löschen**

Löscht die jeweils letzte Auswertung einer Darstellung.

#### **Diagramm → Alle Auswertungen löschen**

Löscht alle Auswertungen einer Darstellung.

#### **Diagramm → Bereich löschen (nur Messwerte)**

Die Messwerte des markierten [Kurvenbereichs](#) werden gelöscht. Das betrifft nur Messwerte, die auf der y-Achse dargestellt werden. Ausgewertete Größen oder Werte auf der x-Achse können nicht gelöscht werden.

#### **Diagramm → Diagramm kopieren**





Kopiert das Diagramm als Metafile oder als Bitmap in die Zwischenablage von Windows. Dort steht sie dann zur Weiterverarbeitung anderen Windows-Programmen zur Verfügung.

#### **Diagramm → Fenster kopieren**

Kopiert das Hauptfenster als Bitmap in die Zwischenablage von Windows. Dort steht es dann zur Weiterverarbeitung anderen Windows-Programmen zur Verfügung.

## Kinetik

Es gibt Auswertungen, die ihr Ergebnis nicht nur in der Statuszeile eintragen, sondern auch ein eigenes Anzeigeelement aktualisieren. Diese Auswertungen sind:

-  [Diagramm → Bereich für Kinetik definieren](#)
-  [Diagramm → Peaksschwerpunkt berechnen](#)
-  [Diagramm → Integral berechnen → Fläche zur x-Achse](#)
-  [Diagramm → Integral berechnen → Peakfläche](#)

Die Anzeigeelemente sind standardmäßig nicht sichtbar, können aber durch Klicken auf den entsprechenden Tool-Button am rechten Ende der oberen Zeile geöffnet werden.

In der Darstellung **Kinetik** (rechter Karteireiter) können die Werte dieser Anzeigeelemente verfolgt werden. Dazu müssen lediglich die gewünschten Tool-Buttons der Anzeigeelemente mit der Maus ins Diagramm gezogen werden (Drag & Drop) und die Aufzeichnung gestartet werden.

### ▶ Kinetik → Kinetik starten

Startet die Aufzeichnung des zeitlichen Verlaufs der ausgewählten Auswertungsergebnisse.

### ■ Kinetik → Kinetik stoppen

Stoppt die Aufzeichnung des zeitlichen Verlaufs wieder.

## Hilfe-Menü

### Hilfe → Hilfe

Ruft diese Hilfe auf.

### Hilfe → Info über

Gibt Auskunft über die Version der Software und ermöglicht die Eingabe des [Freischaltcodes](#).



## Offset $I_0$

In dieser Darstellung wird der Offset  $I_0$  gemessen, der allen anderen Spektren vorher abgezogen wird.

Wenn beim Umschalten in diese Darstellung noch kein Offsetspektrum existiert, wird dieses automatisch gemessen. Zum Überschreiben eines existierenden Offsetspektrums muss **■** entriegelt werden.

Zur Messung eines korrekten Offsetspektrums sollte kein Licht bzw. nur Licht einer konstanten Hintergrundbeleuchtung ins Spektrometer fallen.

Bei Veränderungen im [Einstellungen-Menü](#) kann es notwendig werden, das Offsetspektrum neu zu messen (z. B. nach **+** und **-** mit Hintergrundbeleuchtung).

## Intensität $I_1 = I - I_0$

In dieser Darstellung wird dem aktuellen Spektrum ein bereits vorher gemessener [Offset  \$I\_0\$](#)  abgezogen und als Intensitätsspektrum  $I_1$  angezeigt.


Die Aufnahme des Spektrums kann durch das [Spektrum-Menü](#) (z. B. **●** und **■**) oder das [Einstellungen-Menü](#) (z. B. **+** und **-**) beeinflusst werden.

## Referenz $I_2 = I - I_0$

In dieser Darstellung wird das Referenzspektrum  $I_2$  gemessen, das als 100%-Referenz für das Transmissions- und Extinktionsspektrum dient.

Wenn beim Umschalten in diese Darstellung noch kein Referenzspektrum existiert, wird dieses automatisch gemessen. Zum Überschreiben eines existierenden Referenzspektrums muss **■** entriegelt werden.

Zur Messung eines korrekten Referenzspektrums sollte eine Küvette mit der Referenzlösung im Küvettenhalter eingesetzt sein (Extinktion und Konzentrationsmessung) oder sich kein Filter im Strahlengang befinden (Filtertransmissionsmessung).

Bei Verwendung eines Küvettenhalters muss sichergestellt sein, dass die integrierte Lichtquelle mit  eingeschaltet wurde.

Bei Veränderungen im [Einstellungen-Menü](#) kann es notwendig werden, das Referenzspektrum neu zu messen (z. B. nach **+** und **-**).

## Transmission $T = I_1/I_2$

In dieser Darstellung wird das aktuelle Spektrum durch ein bereits vorher gemessenes [Referenzspektrum  \$I\_2\$](#)  dividiert und als Transmissionsspektrum T angezeigt.

Die Aufnahme des Transmissionsspektrums kann durch das [Spektrum-Menü](#) (z. B. **●** und **■**) beeinflusst werden.

## Extinktion $E = -\log(I_1/I_2)$

In dieser Darstellung wird das aktuelle Spektrum durch ein bereits vorher gemessenes [Referenzspektrum  \$I\_2\$](#)  dividiert, logarithmiert und als Extinktionsspektrum (logarithmiertes Absorptionsspektrum) angezeigt.

Die Aufnahme des Extinktionsspektrums kann durch das [Spektrum-Menü](#) (z. B. **●** und **■**) beeinflusst werden.

## Dämpfung $a = -10 \cdot \log(I_1/I_2)$

In dieser Darstellung wird das aktuelle Spektrum durch ein bereits vorher gemessenes [Referenzspektrum  \$I\_2\$](#)  dividiert, logarithmiert und als Dämpfungsspektrum in dB angezeigt.

Die Aufnahme des Dämpfungsspektrums kann durch das [Spektrum-Menü](#) (z. B. **●** und **■**) beeinflusst werden.

## Kalibrierung

In dieser Darstellung wird die Kalibrierung einer Konzentrationsmessung durchgeführt.

Voraussetzung für die Kalibrierung ist ein Auswertekanal mit Anzeigeinstrument, wie er auch für die [Kinetik](#) benötigt wird. Üblicherweise wird das durch

 [Diagramm → Bereich für Kinetik definieren](#)

in einem Extinktionsspektrum erreicht. Es entsteht dann in der oberen Zeile am rechten Rand ein Tool-Button, mit dem sich die Extinktion im gewählten Bereich anzeigen lässt.

Bei korrekter Aufnahme des Offset- und Referenzspektrums zeigt diese Extinktion bei einer Konzentration von 0 mg/l auch 0 an.

In der Kalibriertabelle wird deswegen die erste Zeile mit einer  $c = 0$  mg/l und  $E = 0$  einzutragen sein. Für beliebig viele weitere Zeilen kann die Konzentration der Kalibrierlösung schrittweise erhöht werden und jeweils die Werte für die Konzentration  $c$  und die Extinktion  $E$  in der Tabelle eingetragen werden.

Die Werte für die Extinktion  $E$  lassen sich alternativ auch einfach mit der Maus aus der Digitalanzeige des Anzeigeinstruments in die Tabelle ziehen (Drag & Drop).

Nach erfolgter Eingabe der Kalibrierpunkte entsteht automatisch ein neues Anzeigeinstrument  $c$ , das auch in der [Kinetik](#) gegen die Zeit aufgenommen werden kann.

Standardmäßig werden die Zwischenwerte durch eine lineare Interpolation der beiden nächstgelegenen Werte aus der Kalibriertabelle berechnet. Wird allerdings eine der Auswertungen

 [Diagramm → Anpassung durchführen → Ursprungsgerade](#)

 [Diagramm → Anpassung durchführen → Ausgleichsgerade](#)

 [Diagramm → Anpassung durchführen → Normalparabel](#)

 [Diagramm → Anpassung durchführen → Parabel](#)

 [Diagramm → Anpassung durchführen → Exponentialfunktion  \$e^x\$](#)

 [Diagramm → Anpassung durchführen → Freie Anpassung](#)

durchgeführt, dann wird stattdessen das Ergebnis der Auswertung für die Interpolation verwendet.

### Tipp

Die Kalibriertabelle lässt sich natürlich auch absteigend füllen. Das ist bei der Herstellung der Kalibrierlösungen einfacher. Der Punkt  $c = 0$  mg/l und  $E = 0$  entspricht dann der letzten Tabellenzeile.

## Spektrometerempfindlichkeit $I_2$

In dieser Darstellung wird die Spektrometerempfindlichkeit  $I_2$  gemessen, das als Referenz für die relativen Intensitätsspektren  $I_3$  dient.

Wenn beim Umschalten in diese Darstellung noch keine Spektrometerempfindlichkeit gemessen wurde, wird sie automatisch gemessen. Zum Überschreiben einer existierenden Spektrometerempfindlichkeit muss **■** entriegelt werden.

Zur Messung der korrekten Spektrometerempfindlichkeit sollte ein Strahler mit möglichst guter planckscher Strahlungsverteilung (Schwarzkörperstrahlung) mit bekannter Farbtemperatur verwendet werden. Die Farbtemperatur muss in [\\* Einstellungen → Weitere Einstellungen](#) angegeben werden.

Bei Veränderungen im [Einstellungen-Menü](#) kann es notwendig werden, die Spektrometerempfindlichkeit neu zu messen (z. B. nach **+** und **-**).

### Hinweis

Diese Darstellung existiert erst, nachdem in [\\* Einstellungen → Weitere Einstellungen](#) auf die Darstellung **Relative Intensität** umgeschaltet wurde.

## Relative Intensität $I_3 = I_1/I_2$

In dieser Darstellung wird das aktuelle Spektrum durch eine bereits vorher gemessenes [Spektrometerempfindlichkeit  \$I\_2\$](#)  dividiert und als relatives Intensitätsspektrum  $I_3$  angezeigt.

Die Aufnahme des relativen Intensitätsspektrums kann durch das [Spektrum-Menü](#) (z. B. **●** und **■**) beeinflusst werden.

### Abhängigkeit von der x-Achse

Sowohl die Spektrometerempfindlichkeit als auch die relative Intensität hängen auch davon ab, ob gegen die Wellenlänge  $\lambda$  oder die Energie  $h\nu$  dargestellt wird, weil die jeweiligen Intervallbreiten zwischen zwei benachbarten Punkten nicht-linear voneinander abhängen. Das hat z. B. zur Folge, dass das Maximum einer planckschen Strahlungskurve bei unterschiedlichen Farben liegt.



### Bestimmung der Farbtemperatur

Durch [f\(x\) Diagramm → Anpassung durchführen → Freie Anpassung](#) ist es möglich, die Farbtemperatur einer gemessenen planckschen Strahlungskurve zu ermitteln. In der Auswahlbox für die Formel  $f(x,A,B,C,D)$  sind die Strahlungsgesetze für die Darstellung gegen die Wellenlänge (Formel mit  $x^5$ ) oder die Energie (Formel mit  $x^3$ ) bereits vorhanden. Es müssen allerdings passende Startwerte für A (maximale Amplitude, z. B. 100) und B (ungefähre Farbtemperatur in Kelvin) vorgegeben werden.

### Hinweis

Diese Darstellung existiert erst, nachdem in [\\* Einstellungen → Weitere Einstellungen](#) auf die Darstellung **Relative Intensität** umgeschaltet wurde.

## Versuchsbeispiele

Die Versuchsbeispiele helfen Ihnen beim Einsatz von SpectraLab. Gegebenenfalls ist die entsprechende Kennzahl des Hauptkatalogs Physikversuche mit angegeben. Die Messdaten der Beispiele können direkt in SpectraLab geladen werden. Klicken Sie einfach auf die -Zeichen in den Beschreibungen. Neue Beispiele sind mit einem roten  gekennzeichnet.

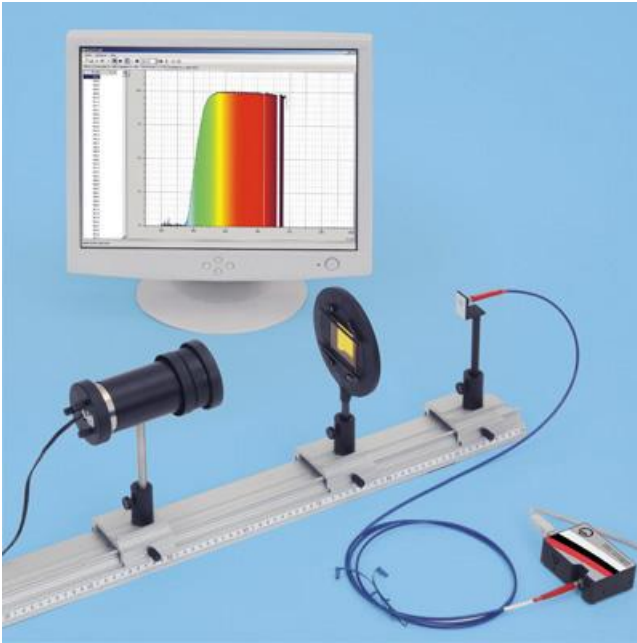
### Physik

- P5.2.4.3 [Transmissionsspektren farbiger Gläser](#)
- P5.2.4.4 [Transmissions- und Fluoreszenzspektren farbiger Flüssigkeiten](#)
- P5.2.5.1 [Reflexionsspektren verschiedener Materialien](#)
- P6.2.2.5 [Aufnahme der fraunhoferschen Linien](#)
- P6.2.2.4 [Aufnahme der Emissionsspektren bei einer Flammenfärbung](#)
- P6.2.2.6 [Emissionslinien von Gasentladungslampen](#)
- [Spektren einer Glühlampe und einer Energiesparlampe](#)
- P5.2.4.5 [Absorptionsspektrum eines Lichtwellenleiters](#)
- P5.5.2.4 [Untersuchung des wienschen Verschiebungsgesetzes](#)

### Chemie

- [Extinktionsspektrum einer Kristallviolettlösung](#)
- [Entfärben von Kristallviolett mit Natronlauge](#)
- [Extinktionsspektren von Lebensmittelfarbstoffen](#)
- [Absorption/Reflektion von UV-Licht durch Sonnenschutzmittel](#)

## Transmissionsspektren farbiger Gläser



### Versuchsbeschreibung

Im Versuch wird das durch farbige Gläser hindurchgehende Licht einer Glühlampe mit einem Spektrometer aufgenommen und mit dem kontinuierlichen Spektrum des Lampenlichts verglichen. Der Transmissionskoeffizient und die optische Dichte (Extinktion) der farbigen Gläser werden berechnet.





### Benötigte Geräte

1	Kompakt-Spektrometer, Physik	467 251
1	Faserhalter	460 251
1	Lampengehäuse mit Kabel	450 60
1	Glühlampe 6 V/30 W, E14, Satz 2	450 511
1	Kondensator mit Blendenhalter	460 20
1	Transformator 6/12 V	521 210
1	Halter mit Federklemmen	460 22
	verschiedene Filter, z. B.:	
1	Lichtfilter, dunkelrot	468 01
1	Lichtfilter, blau-grün	468 09
1	Lichtfilter, blau-violett	468 11
1	Optische Bank, S1-Profil, 1 m	460 310
3	Optikreiter mit Muffe	460 311
1	PC mit Windows 2000/XP/Vista/7/8	

### Versuchsaufbau (siehe Bild)

Lampe in das Lampengehäuse einsetzen, aber noch nicht an den 6-V-Ausgang des Transformators anschließen. Zunächst keinen Filter in den Halter mit Federklemmen einsetzen.

### Versuchsdurchführung

- Mit  neue Messung beginnen.
- Darstellung **Intensität I1** wählen.
- Mit  die Messung starten.
- Lampe an den 6-V-Ausgang des Transformators anschließen.
- Ausrichtung der Lichtleitfaser anpassen, so dass die Intensität maximal wird. Gegebenenfalls Integrationszeit direkt oder mit  oder  so anpassen, dass die maximale Intensität zwischen 75 % und 100 % liegt. Integrationszeit im Weiteren nicht mehr verändern.
- Lampe zur Aufnahme des Untergrundspektrums wieder ausschalten.

- Darstellung **Offset I0** öffnen.
- Das angezeigte Spektrum wird bei weiteren Messungen als Untergrundspektrum abgezogen.
- Zur Darstellung **Referenz I2** wechseln.
- Lampe wieder an den 6-V-Ausgang des Transformators anschließen.
- Das angezeigte Spektrum dient für die folgenden Messung als Referenzspektrum. Referenzmessung mit **I1** anhalten.
- Einen Filter in den Halter mit Federklemmen einsetzen.
- In der Darstellung **Intensität I1** ist das Spektrum nach Durchgang des Lichts durch den Filter zu sehen. In Grau wird zusätzlich das Referenzspektrum angezeigt.
- Für die Darstellung **Transmission T** wird das Verhältnis des Spektrums mit Filter zur Referenzkurve berechnet und angezeigt.
- Für die Darstellung **Extinktion E** wird die Extinktion (optische Dichte) berechnet und angezeigt.
- Mit **●** kann das Transmissionsspektrum gleichzeitig für alle Darstellungen abgespeichert werden.
- Versuch für weitere Filter wiederholen.

### Auswertung

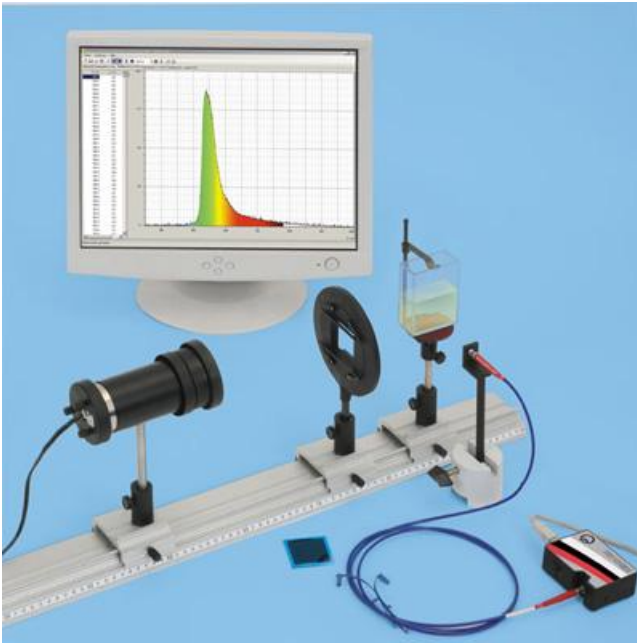
Nach dem Einsetzen eines Filters in den Halter mit Federklemmen verschwindet das breite Spektrum mit den verschiedenen Spektralfarben. Bei den Lichtfiltern bleibt im sichtbaren Spektralbereich nur noch ein Band mit den Farbanteilen des Filters erhalten. Die anderen Anteile des sichtbaren Spektrums werden absorbiert. Bei allen Filtern nimmt die Transmission für große Wellenlängen, speziell im infraroten Spektralbereich wieder zu. Die Farbe der Filter lässt also keine Rückschlüsse auf die Transmissionseigenschaften außerhalb des sichtbaren Spektralbereichs zu.

### Hinweise

In den Darstellungen **Transmission** und **Extinktion** werden nur Bereiche ausgewertet, in denen die Intensität der Referenzkurve mindestens 2 % beträgt.

Zur Reduzierung der Rauschens können mit **Σ** mehrere Einzelspektren gemittelt werden (auch Offset und Referenz). Alternativ kann in den Einstellungen [Glättung auf 1 nm Auflösung](#) eingestellt werden.

## Transmissions- und Fluoreszenzspektren farbiger Flüssigkeiten



### Versuchsbeschreibung

Im Versuch wird das Fluoreszenz-Verhalten durch Aufnahme des Transmissionsspektrums bei Absorption und des Emissionsspektrum bei Streuung untersucht. Dazu wird das emittierte Licht der mit Fluorescein eingefärbten Flüssigkeit unter einem rechten Winkel beobachtet. Ein Blaufilter wird verwendet, um die Fluoreszenz von einer Lichtstreuung zu unterscheiden.

### Benötigte Geräte

1	Kompakt-Spektrometer, Physik	467 251
1	Faserhalter	460 251
1	Lampengehäuse mit Kabel	450 60
1	Glühlampe 6 V/30 W, E14, Satz 2	450 511
1	Kondensator mit Blendenhalter	460 20
1	Transformator 6/12 V	521 210
1	Halter mit Federklemmen	460 22
1	Lichtfilter, blau-violett	468 11
1	Spiegelglaskasten (Küvette)	477 14
1	Prismenstisch	460 25
1	Fluorescein, 25 g	672 0110
1	Mikro-Doppelspatel	604 5672
1	Optische Bank, S1-Profil, 1 m	460 310
4	Optikreiter mit Muffe	460 311
1	Socket	300 11
1	PC mit Windows 2000/XP/Vista/7/8	

### Versuchsaufbau (siehe Bild)

Lampe in das Lampengehäuse einsetzen, aber noch nicht an den 6-V-Ausgang des Transformators anschließen. Spiegelglaskasten mit Wasser füllen und das Wasser mit einer sehr kleinen Menge Fluorescein anfärben. Dazu Spatelspitze in Fluorescein-Pulver eintauchen und den anhaftenden Rest abklopfen.

Zunächst weder das Lichtfilter in den Halter mit Federklemmen einsetzen noch den Spiegelglaskasten auf den Prismenstisch stellen.

### Versuchsdurchführung

#### Aufnahme des Transmissionsspektrums

- Mit  neue Messung beginnen.
- Darstellung **Intensität I1** wählen.

- Mit ► die Messung starten.
- Lampe an den 6-V-Ausgang des Transformators anschließen und im Gehäuse so verschieben, dass die Lichtleitfaser gut beleuchtet wird.
- Ausrichtung der Lichtleitfaser anpassen, so dass die Intensität maximal wird. Gegebenenfalls Integrationszeit direkt oder mit ⚪ oder ⚫ so anpassen, dass die maximale Intensität zwischen 75 % und 100 % liegt. Integrationszeit im Weiteren nicht mehr verändern.
- Lampe zur Aufnahme des Untergrundspektrums wieder ausschalten.
- Darstellung **Offset I0** öffnen.
- Das angezeigte Spektrum wird bei weiteren Messungen als Untergrundspektrum abgezogen.
- Zur Darstellung **Referenz I2** wechseln.
- Lampe wieder an den 6-V-Ausgang des Transformators anschließen.
- Das angezeigte Spektrum dient für die folgenden Messung als Referenzspektrum. Referenzmessung mit ■ anhalten.
- Spiegelglaskasten auf den Prisentisch stellen.
- In der Darstellung **Intensität I1** ist das Spektrum nach Durchgang des Lichts durch die Flüssigkeit zu sehen. In Grau wird zusätzlich das Referenzspektrum angezeigt.
- Für die Darstellung **Transmission T** wird das Verhältnis des Spektrums mit Flüssigkeit zur Referenzkurve berechnet und angezeigt.
- Für die Darstellung **Extinktion E** wird die Extinktion (optische Dichte) berechnet und angezeigt.
- Mit ● kann das Transmissionsspektrum gleichzeitig für alle Darstellungen abgespeichert werden.

#### Aufnahme des Emissionsspektrums

- Faserhalter so hinstellen, dass die Lichtleitfaser senkrecht von der Seite auf den Spiegelglaskasten ausgerichtet ist. Dazu ggf. den Brennpunkt des Strahlenganges durch Verschieben des Lampengehäuses in die Ebene des Spiegelglaskastens legen, so dass das Fluorescein deutlich aufleuchtet. Die Lichtleitfaser auf einen möglichst hellen Bereich ausrichten.
- Spektrum in der Darstellung **Intensität I1** betrachten. Dazu Integrationszeit mit ⚫ so vergrößern, dass das Spektrum gut sichtbar ist.

#### Aufnahme des Transmissionsspektrums mit Lichtfilter

- Faserhalter wieder in den direkten Strahlengang stellen.
- Blau-violettes Lichtfilter in den Strahlengang bringen.
- Zur Darstellung **Referenz I2** wechseln und mit ► die Referenzmessung starten. Gegebenenfalls Integrationszeit direkt oder mit ⚪ oder ⚫ so anpassen, dass die maximale Intensität zwischen 75 % und 100 % liegt. Integrationszeit im Weiteren nicht mehr verändern.
- Das angezeigte Spektrum dient für die folgenden Messung als Referenzspektrum. Referenzmessung mit ■ anhalten.
- Spiegelglaskasten auf den Prisentisch stellen.
- In der Darstellung **Intensität I1** ist das Spektrum nach Durchgang des Lichts durch die Flüssigkeit zu sehen. In Grau wird zusätzlich das Referenzspektrum angezeigt.

### Auswertung

Im Transmissionsspektrum des mit Fluorescein gefüllten Spiegelglaskastens zeigt sich ein Minimum bei ca. 490 nm. Ggf. die Absorption durch Verdünnung des Fluoresceins oder durch Verkürzung des Lichtweges durch Drehen des Spiegelglaskastens verringern.

Im Emissionsspektrum des zur Seite abgestrahlten Lichtes zeigt sich ein deutlicher Peak im grünen Bereich mit einem Maximum bei 520 nm.

Im Spektrum der Lampe mit eingesetztem blau-violetten Filter in der **Darstellung I2** zeigt sich ein deutlicher Peak mit einem Maximum bei ca. 460 nm. Im Spektrum des Lichts hinter dem mit Fluorescein gefüllten Spiegelglaskasten in der **Darstellung I1** zeigt sich eine starke Absorption des blau-violetten Peaks bei gleichzeitiger Zunahme der Intensität im grünen Bereich, die z.B. durch Ziehen mit der Maus an der y-Achse verdeutlicht werden kann.

Fluorescein wird mit blauem Licht angeregt (Literaturwert des Absorptionsmaximums: 485 nm bei pH 9) und emittiert anschließend grünes Licht (520 bis 530 nm).

### Hinweise

Es wäre physikalisch exakter, wenn die Referenzspektren zunächst jeweils mit dem wassergefüllten Spiegelglaskasten (ohne Fluorescein) aufgenommen werden.

Ein abgedunkelter Raum minimiert die Fluoreszenz, die vom Umgebungslicht hervorgerufen wird.

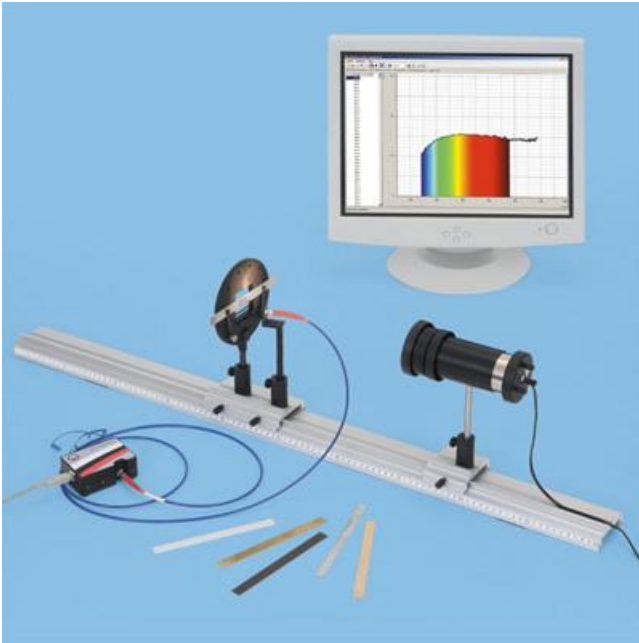


Absorptionsspektren und Transmissionsspektren sind äquivalent:  $T = 1 - A$ . Dort, wo ein Transmissionsspektrum sein Minimum hat, hat das Absorptionsspektrum sein Maximum.

In den Darstellungen **Transmission** und **Extinktion** werden nur Bereiche ausgewertet, in denen die Intensität der Referenzkurve mindestens 2 % beträgt.

Zur Reduzierung der Rauschens können mit  $\Sigma$  mehrere Einzelspektren gemittelt werden (auch Offset und Referenz). Alternativ kann in den Einstellungen [Glättung auf 1 nm Auflösung](#) eingestellt werden.

## Reflexionsspektren verschiedener Materialien



### Versuchsbeschreibung

Der Farbeindruck von lichtundurchlässigen Gegenständen wird durch den reflektierten Anteil der Spektralfarben erzeugt.

Im Versuch wird das Licht einer Glühlampe nach der Reflexion an verschiedene Materialien mit dem Spektrometer aufgenommen. Durch den Vergleich mit der Reflexion an einem weißen Blatt Papier (Streulicht) wird der Reflexionskoeffizient berechnet.

### Benötigte Geräte





1	Kompakt-Spektrometer, Physik	467 251
1	Faserhalter	460 251
1	Lampengehäuse mit Kabel	450 60
1	Glühlampe 6 V/30 W, E14, Satz 2	450 511
1	Kondensator mit Blendenhalter	460 20
1	Transformator 6/12 V	521 210
1	Halter mit Federklemmen	460 22
1	Leiter/Nichtleiter, Satz 6	567 06
1	Optische Bank, S1-Profil, 1 m	460 310
3	Optikreiter mit Muffe	460 311
1	PC mit Windows 2000/XP/Vista/7/8	

### Versuchsaufbau (siehe Bild)

Lampe in das Lampengehäuse einsetzen. Einen weißen Papierstreifen zuschneiden (gemäß den Abmessungen der Leiter/Nichtleiter: 1,5 cm x 8 cm) und im Halter mit Federklemmen einspannen. Lampe an den 6-V-Ausgang des Transformators anschließen so einstellen, dass neben dem Faserhalter auf dem Papierstreifen eine helle Stelle entsteht (unscharfe Abbildung der Heizwendel). Faser durch Drehen des Faserhalters auf diese Stelle ausrichten.

### Versuchsdurchführung

#### Aufnahme des Referenzspektrums

- Mit  neue Messung beginnen.
- Darstellung **Intensität I1** wählen.
- Mit  die Messung starten.
- Gegebenenfalls Integrationszeit direkt oder mit  oder  so anpassen, dass die maximale Intensität zwischen 75 % und 100 % liegt. Integrationszeit im Weiteren nicht mehr verändern.
- Zur Aufnahme des Untergrundspektrums Papierstreifen entfernen und Lampe ausschalten.

- Darstellung **Offset I0** öffnen.
- Das angezeigte Spektrum wird bei weiteren Messungen als Untergrundspektrum abgezogen.
- Zur Darstellung **Referenz I2** wechseln.
- Papierstreifen wieder im Halter mit Federklemmen einspannen und Lampe einschalten.
- Das angezeigte Spektrum dient für die folgenden Messung als Referenzspektrum. Referenzmessung mit ■ anhalten.

#### *Aufnahme der Reflexionsspektren (Reflexion an verschiedenen Materialien)*

- Papierstreifen aus dem Halter entfernen und jeweils einen Streifen aus dem Satz Leiter/Nichtleiter einspannen.
- In der Darstellung **Intensität I1** ist das Spektrum nach Reflexion des Lichts an dem Streifen zu sehen. In Grau wird zusätzlich das Referenzspektrum angezeigt.
- Für die Darstellung **Transmission T** wird das Verhältnis des Reflexionsspektrums zum Referenzspektrum berechnet und angezeigt.
- Mit ● kann das Reflexionsspektrum gleichzeitig für alle Darstellungen abgespeichert werden.

### Auswertung

In den Reflexionsspektren von Aluminium (rot) und Polystyrol (violett) zeigt sich über den gesamten Bereich, d.h. insbesondere im Bereich sichtbaren Lichtes von ca. 400 bis 800 nm eine näherungsweise gleiche Abschwächung (im Beispiel zwischen 60 bis 80 %, bzw. 70 bis 85 %). Deswegen erscheinen diese Materialien grau.

In den Reflexionsspektren von Holz (blau) und Messing (schwarz) zeigt sich eine deutliche Abschwächung im kurzwelligen, d.h. im blauen Bereich. Deswegen erscheinen diese Materialien gelblich (Sekundärfarbe zu blau). Es ist auch erkennbar, dass der Rotanteil bei Holz größer ist.

Das verwendete dunkle Pertinax (grün) reflektiert im Wesentlichen rote und infrarote Anteile mit einer Wellenlänge größer als ca. 750 nm. Deswegen erscheint es fast schwarz.

Transparentes Acrylglas (dunkelblau) streut kein Licht, d.h. es wird in Richtung der Faser kein Licht reflektiert.

### Hinweise

Im Versuch wird im Wesentlichen das gestreute Licht des von der Lampe gerichteten Lichtbündels unter einem festen Winkel beobachtet (diffuser Reflexion). Bei den spiegelnden Oberflächen (Messing, Pertinax, Acrylglas) wird ein großer Anteil spekulär reflektiert, d.h. nicht in Richtung der Faser.

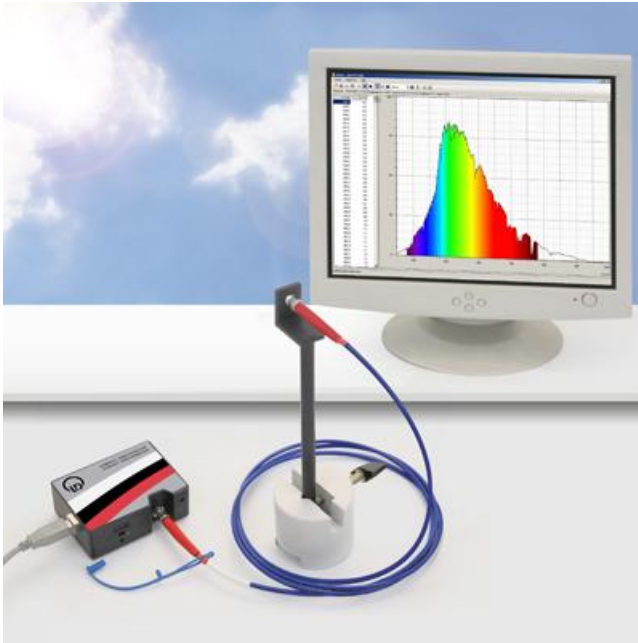
Es ist empfehlenswert weitere Materialien für die Reflexion zu verwenden. Insbesondere kann bei Pflanzenblättern beobachtet werden, dass diese im roten und blauen Bereich absorbieren (Chlorophyll-Banden) und im grünen Bereich das Licht reflektieren.

Bei Verwendung von Farbfiltern, d.h. nicht weißes Licht, erscheinen die Materialien entsprechend ihrer Reflexionseigenschaften in anderen Farben, die sich auch im Reflexionsspektrum erkennen lassen. Dazu sollte der Raum abgedunkelt sein, damit dieses Ergebnis nicht durch das Umgebungslicht verfälscht wird.

In den Darstellungen **Transmission** und **Extinktion** werden nur Bereiche ausgewertet, in denen die Intensität der Referenzkurve mindestens 2 % beträgt.

Zur Reduzierung der Rauschens können mit  $\Sigma$  mehrere Einzelspektren gemittelt werden (auch Offset und Referenz). Alternativ kann in den Einstellungen [Glättung auf 1 nm Auflösung](#) eingestellt werden.

## Aufnahme der fraunhoferschen Linien



### Versuchsbeschreibung

Die Fraunhoferschen Linien sind dunkle Linien im Spektrum der Sonne. Sie wurden erstmals von Joseph von Fraunhofer systematisch studiert. Solche Linien entstehen dadurch, dass Gase in der Photosphäre - der sichtbaren Sonnenoberfläche - einen Teil des Sonnenlichts absorbieren. Somit lassen die Fraunhoferlinien Rückschlüsse auf die chemische Zusammensetzung und die Temperatur der Photosphäre zu. Im Versuch wird ein Spektrum der Sonne bzw. des Himmels aufgenommen und die Wellenlängen der Absorptionslinien bestimmt.







### Benötigte Geräte

1	Kompakt-Spektrometer, Physik oder	467 251
1	Kompakt-UV-Spektrometer, Physik	467 261
1	Faserhalter	460 251
1	Socket	300 11
1	PC mit Windows 2000/XP/Vista/7/8	

### Versuchsaufbau (siehe Bild)

Faserhalter mit Lichtleitfaser zum Himmel ausrichten.

### Versuchsdurchführung

- Mit  neue Messung beginnen.
- Darstellung **Intensität I1** wählen.
- Mit  die Messung starten.
- Ausrichtung der Lichtleitfaser anpassen, so dass die Intensität maximal wird. Gegebenenfalls Integrationszeit direkt oder mit  oder  so anpassen, dass die maximale Intensität zwischen 75 % und 100 % liegt.
- Zur Messung des Untergrundspektrums die Eintrittsöffnung der Lichtleitfaser lichtdicht abdecken.
- Darstellung **Offset I0** öffnen.
- Das angezeigte Spektrum wird bei weiteren Messungen als Untergrundspektrum abgezogen.
- Zurück zur Darstellung **Intensität I1** wechseln.
- Eintrittsöffnung der Lichtleitfaser wieder freigeben.
- Mit  Messung stoppen oder mit  das Spektrum abspeichern.
- Ggf. weitere Spektren aufnehmen, z. B.
  - in unterschiedliche Himmelsrichtungen
  - Vergleich Himmel – Wolken
  - bei unterschiedlichen Tageszeiten

## Auswertung



Das gemessene Spektrum zeigt eine breite Verteilung mit vielen Minima. Zur Bestimmung der Wellenlänge eines Minimums kann eine senkrechte Linie eingezeichnet und die Wellenlänge abgelesen werden.

Die Minima entsprechen den Absorptionslinien verschiedener Elemente. Die markantesten Linien sind zusammen mit den zugehörigen Elementen in folgender Tabelle verzeichnet. Größtenteils erfolgt die Absorption in der Photosphäre der Sonne. Die Linien A, B, a, y und Z entstehen durch Absorption von O<sub>2</sub> in der Erdatmosphäre.

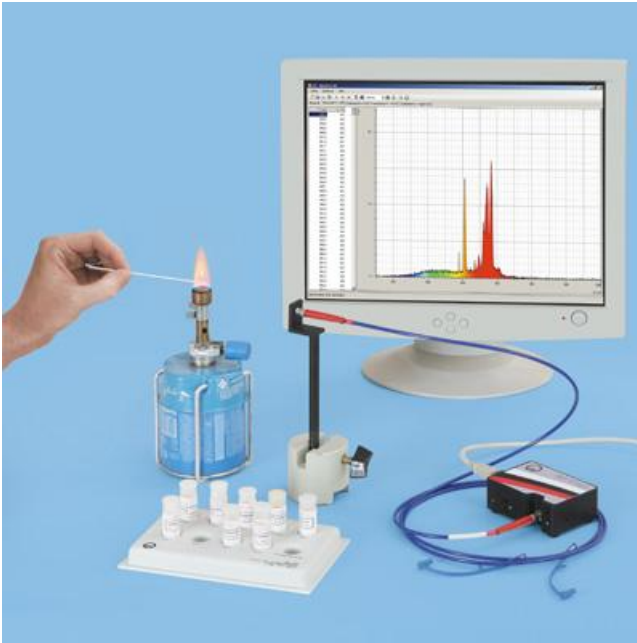
Weitere Absorptionslinien bzw. -banden (u. a. bei 720 nm, 810 nm) sind auf Wasserdampf in der Erdatmosphäre zurückzuführen.

Symbol	Element	Wellenlänge (nm)
y	O <sub>2</sub>	898,765
Z	O <sub>2</sub>	822,696
A	O <sub>2</sub>	759,370
B	O <sub>2</sub>	686,719
C	H <sub>α</sub>	656,281
a	O <sub>2</sub>	627,661
D <sub>1</sub>	Na	589,594
D <sub>2</sub>	Na	588,997
D <sub>3</sub>	He	587,565
E <sub>2</sub>	Fe	527,039
b <sub>1</sub>	Mg	518,362
b <sub>2</sub>	Mg	517,270
b <sub>3</sub>	Fe	516,891
b <sub>4</sub>	Fe	516,751
b <sub>5</sub>	Mg	516,733
c	Fe	495,761
F	H <sub>β</sub>	486,134
d	Fe	466,814
e	Fe	438,355
G'	H <sub>γ</sub>	434,047
G	Fe	430,790
G	Ca	430,774
h	H <sub>δ</sub>	410,175
H	Ca <sup>+</sup>	396,847
K	Ca <sup>+</sup>	393,368
L	Fe	382,044
N	Fe	358,121
P	Ti <sup>+</sup>	336,112
T	Fe	302,108
t	Ni	299,444

## Hinweis

Die in den oben aufgeführten Beispielen sind viele Fraunhoferlinien bereits eingezeichnet. Aus den Beispielen lassen sich einfach Vorlagen für eigene Messungen erstellen. Dazu nach dem Laden des Beispiels das Spektrum mit  löschen. Die eingezeichneten Linien bleiben dabei erhalten. Anschließend kann durch  ein neues Spektrum aufgenommen werden.

## Aufnahme der Emissionsspektren bei einer Flammenfärbung



### Gefahrenhinweise

Bariumchlorid ist gesundheitsschädlich beim Einatmen und giftig beim Verschlucken.

Calciumchlorid reizt die Augen. Staub nicht einatmen. Berührung mit der Haut vermeiden.

Kupfer (II)-nitrat und Lithiumchlorid sind gesundheitsschädlich beim Verschlucken. Sie reizen die Augen und die Haut.

Salzsäure verursacht Verätzungen! Schutzbrille aufsetzen!

Lange Haare gegen Verbrennen schützen!

### Versuchsbeschreibung

Die Salze einiger Metalle, darunter vor allem die der Alkali- und Erdalkalimetalle, weisen charakteristische Lichtemissionen im sichtbaren Bereich nach thermischer Anregung (z. B. durch eine nichtleuchtende Flamme) auf. Mit dem Auge sieht man hier eine farbige Flamme. Mit einem Spektrometer kann man die spektrale Verteilung im Emissionsspektrum auflösen und auch Gemische verschiedener Metallsalze unterscheiden

### Benötigte Geräte

1	Kompakt-Spektrometer, Physik	467 251
1	Faserhalter	460 251
1	Sockel	300 11
1	Butangas-Kartuschen-Brenner	666 711
1	Butangas-Kartusche, 190 g	666 712
1	Gasanzünder, mechanisch	666 731
1	Magnesiastäbchen, 25 Stück	673 0840
1	Pulverspatel, 150 mm	604 5681
1	Salze zum Flammenfärben	661 088
1	Tropfpipette, z. B. aus	665 953
1	Gummikappe, z. B. aus	665 954
1	Tüpfelplatte	667 089
1	Salzsäure, z. B.	674 6850
1	PC mit Windows 2000/XP/Vista/7/8	






### Versuchsaufbau (siehe Bild)

Die Tropfpipette mit Gummihütchen versehen. Jeweils eine kleine Menge (wenige Kristalle) der verschiedenen Salze in einer Vertiefung der Tüpfelplatte vorlegen und kennzeichnen. Darauf achten, dass die Proben nicht unabsichtlich vermischt werden! Die Proben mit je 1 Tropfen Salzsäure anfeuchten.

## Hinweis

Bereits geringe Spuren von Natriumsalzen verfärben die Flamme gelb und überdecken alle anderen Emissionen. Daher ist auf unbedingte Sauberkeit bei den Versuchen zu achten. Es dürfen keine Kristalle in den Brenner fallen!

## Versuchsdurchführung

- Brenner anzünden und dann die Luftzufuhr ganz öffnen.
- Mit  neue Messung beginnen.
- Mit  die Messung starten.
- Darstellung **Offset I0** öffnen.
- Das angezeigte Spektrum wird bei weiteren Messungen als Untergrundspektrum abgezogen.
- Zur Darstellung **Intensität I1** wechseln. Die Intensität liegt jetzt im ganzen Spektralbereich bei 0 %.
- Ein Magnesiastäbchen gründlich in der Brennerflamme ausglühen (vorher in Salzsäure tauchen).
- Mit dem noch heißen Ende einige Salzkristalle von der Tüpfelplatte aufnehmen.
- Das Magnesiastäbchen in die Brennerflamme halten und die Flammenfärbung mit dem Auge beobachten.
- Integrationszeit direkt oder mit  oder  so anpassen, dass die Intensität der Linien maximal wird. Gegebenenfalls Ausrichtung der Lichtleitfaser anpassen, so dass die Intensität maximal wird.
- Mit  das Spektrum abspeichern.
- Versuch mit weiteren Salzen wiederholen. Dazu entweder die verunreinigte Spitze des alten Magnesiastäbchens abbrechen oder ein neues sauberes Magnesiastäbchen benutzen.

## Auswertung

Die Flamme zeigt für jedes Salz eine charakteristische Färbung. Diese ergibt sich aus der Farbe und Intensität der jeweiligen Emissionslinien. In der folgenden Tabelle sind Flammenfärbung und Wellenlänge der wichtigsten Emissionslinien für die einzelnen Elemente zusammengefasst.

Element	Flammenfärbung, visuell	Wellenlänge der wichtigsten Linien in nm
Barium	grün	524,2 (grün); 513,7 (grün)
Calcium	ziegelrot	622,0 (rot); 553,3 (grün)
Cäsium	blau	458,0 (blau); 852,1 (IR); 894,3 (IR)
Kupfer	grün (in Anwesenheit von Cl <sup>-</sup> ) blau (reines Kupfernitrat)	510,5; 515,3; 521,8 (alle grün)
Kalium	violett	786,3 (rot); 404,4 (violett)
Lithium	rot	670,8 (rot)
Natrium	gelb	589,3 (gelb)
Rubidium	rot-violett	780,0 (rot); 794,8 (rot); 420,0 (violett)
Strontium	karminrot	604,5 (orange); 460,7 (blau); mehrere rote Linien


Wie die Spektren der einzelnen Versuchsbeispiele zeigen, emittieren einige der Elemente auch starke Linien im ultraviolett und infraroten Bereich, die mit dem Auge nicht beobachtet werden können (z. B. Cs), oder wie beim Kalium nur schwer (Ausblenden der hellen Natriumlinie mittels Kobaltglas).

Eine Verunreinigung mit Natrium ist oft nicht zu vermeiden. Während für das Auge die helle gelbe Natriumlinie schwächere Linien leicht überdeckt, sind diese für das Spektrometer auch in Gemischen mit Natrium gut sichtbar.

Zusätzlich können auch weitere Proben wie Pflanzenasche, Holzasche, Speisesalz oder Ähnliches untersucht werden.

Im Beispiel Holzasche ist deutlich der hohe Kaliumanteil zu sehen. Zusätzlich sind Linien von Natrium und Rubidium sichtbar.

## Hinweis

Zur Reduzierung der Rauschens können mit  mehrere Einzelspektren gemittelt werden (auch Offset und Referenz). Alternativ kann in den Einstellungen [Glättung auf 1 nm Auflösung](#) eingestellt werden.



## Emissionslinien von Gasentladungslampen



### Versuchsbeschreibung

Mit Gasentladungsröhren erhält man Spektren, die nur aus einzelnen Spektrallinien bestehen. Diese werden Linienspektren genannt. Die Wellenlänge der einzelnen Spektrallinien sind für das jeweilige Gas charakteristisch. Im Experiment wird das Emissionsspektrum einer Quecksilber-Spektralröhre untersucht.

### Benötigte Geräte

1	Kompakt-Spektrometer, Physik oder	467 251
1	Kompakt-UV-Spektrometer, Physik	467 261
1	Faserhalter	460 251
1	Spektralröhre, z. B. Hg (mit Ar)	467 63
1	Halter für Spektralröhren	467 81
1	Hochspannungs-Netzgerät, 10 kV	521 70
1	Messwiderstand 100 k $\Omega$	536 251
1	Kleiner Stativfuß	300 02
1	Sockel	300 11
1	Sicherheitskabel, 50 cm, rot	500 621
1	Sicherheitskabel, 50 cm, blau	500 622
1	Sicherheitskabel, 25 cm, rot	500 611
1	Sicherheitskabel, 25 cm, gelb-grün	500 610
1	PC mit Windows 2000/XP/Vista/7/8	

Linienspektren verschiedener Gase und die Wellenlänge der Spektrallinien sind in der Spektraltafel (667 7101) zusammengestellt.





### Versuchsaufbau (siehe Bild)

Spektralröhre in den Halter für Spektralröhren einsetzen. Lichtleitfaser in Faserhalter vor der Spektralröhre aufstellen.

### Versuchsdurchführung

- Mit  neue Messung beginnen.
- Darstellung **Intensität I1** wählen.
- Mit  die Messung starten.
- Hochspannungsnetzgerät einschalten und Spannung langsam erhöhen, bis die Spektralröhre zündet (2–5 kV).



- Ausrichtung der Lichtleitfaser anpassen, so dass die Intensität maximal wird. Gegebenenfalls Integrationszeit direkt oder mit  oder  so anpassen, dass die maximale Intensität zwischen 75 % und 100 % liegt.
- Zur Messung des Untergrundspektrums die Hochspannung zurück auf Null drehen.
- Darstellung **Offset I0** öffnen.
- Das angezeigte Spektrum wird bei weiteren Messungen als Untergrundspektrum abgezogen.
- Zurück zur Darstellung **Intensität I1** wechseln.
- Spannung langsam wieder erhöhen, bis die Spektralröhre zündet (2–5 kV).
- Mit  Messung stoppen oder mit  das Spektrum abspeichern.
- Gegebenenfalls Spektren für weitere Spektralröhren aufnehmen.

### Auswertung

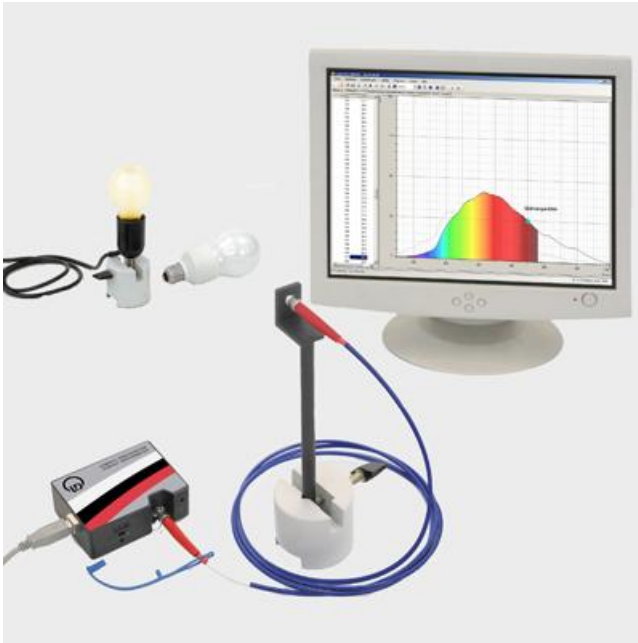
Das Spektrum der Spektralröhre Hg (mit Ar) besteht aus verschiedenen Spektrallinien. Zur Bestimmung der Wellenlänge einer kann eine senkrechte Linie eingezeichnet und die Wellenlänge abgelesen werden. Die stärksten Emissionslinien von Quecksilber liegen bei 366 nm, 405 nm, 436 nm, 546 nm, 577 nm und 579 nm. Die Emissionslinien im roten und infraroten Spektralbereich stammen von Argon, das in der Spektralröhre als Zündgas dient.

### Hinweis

Spektralröhren sind auch für folgende Gasfüllungen lieferbar:

N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, He, Ar, Ne, Kr.

## Spektrn einer Glühlampe und einer Energiesparlampe



### Versuchsbeschreibung

In einer Glühlampe wird ein elektrischer Leiter durch elektrischen Strom aufgeheizt und dadurch zum Leuchten angeregt. Das emittierte Spektrum ist kontinuierlich und kann mit dem planckschen Strahlungsgesetz beschrieben werden. Das Strahlungsmaximum der Strahlung verschiebt sich mit steigender Temperatur  $T$  gemäß dem wienschen Verschiebungsgesetz

$$\lambda_{\max} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ K} / T$$

zu kleineren Wellenlängen hin; zugleich erhöht sich der Maximalwert der Strahlung. Bei den in normalen Glühlampen erreichbaren Temperaturen von etwa 2300 bis 2900 K liegt das Strahlungsmaximum im infraroten Spektralbereich.

Energiesparlampen (Kompaktleuchtstofflampen) sind keine thermischen Strahler sondern Quecksilber-Gasentladungslampen. Sie emittieren daher ein Linienspektrum. Zusätzlich sind sie innen mit einem fluoreszierenden Leuchtstoff beschichtet, durch den ultraviolette Strahlungsanteile in sichtbare Strahlung umgewandelt werden. Das Spektrum enthält daher zusätzliche Linien oder Banden. Deren Lage und Breite hängt vom verwendeten Leuchtstoff ab und bestimmt den Farbeindruck der Lampen und die Farbwiedergabe.

Im Versuch werden die Spektren einer Glühlampe und einer Energiesparlampe aufgenommen. Durch die Angabe der Farbtemperatur der Glühlampe kann die Wellenlängenabhängigkeit der Spektrometerempfindlichkeit bestimmt werden und so der Intensitätsverlauf der Spektren korrigiert dargestellt werden. Die Unterschiede in den spektralen Verteilungen von Glühlampe und Energiesparlampe vor allem im Infrarotbereich treten so deutlich hervor. Vergleicht man die Gesamtbestrahlungsstärke im sichtbaren Spektralbereich, ist der Unterschied jedoch gering.







### Benötigte Geräte

1	Kompakt-Spektrometer, Physik	467 251
1	Faserhalter	460 251
1	Lampenfassung, E 27	451 17
1	Glühlampe, E 27, 60 W	505 301
1	Energiesparlampe, E 27, 11 W	505 3181
2	Sockel	300 11
1	PC mit Windows 2000/XP/Vista/7/8	

### Versuchsaufbau (siehe Bild)

Glühlampe in Lampenfassung befestigen. Lichtleitfaser in Faserhalter in etwa 1 m Abstand zur Glühlampe aufstellen.

## Versuchsdurchführung

- Mit  neue Messung beginnen.
- Darstellung **Intensität I1** wählen.
- Mit  die Messung starten.
- Glühlampe einschalten.
- Integrationszeit direkt oder mit  oder  so anpassen, dass die maximale Intensität etwa bei 20 % liegt. Gegebenenfalls Ausrichtung der Lichtleitfaser anpassen.
- Lampe zur Aufnahme des Untergrundspektrums wieder ausschalten.
- Darstellung **Offset I0** öffnen.
- Das angezeigte Spektrum wird bei weiteren Messungen als Untergrundspektrum abgezogen.
- Bei  [Einstellungen](#) → [Weitere Einstellungen](#) die Darstellung **Relative Intensität** auswählen die Farbtemperatur 2680 K (Glühlampe 60 W) eintragen.
- Zur (jetzt neu verfügbaren) Darstellung **Spektrometerempfindlichkeit I2** wechseln.
- Glühlampe wieder einschalten.
- Das angezeigte Spektrum dient als Referenz für die relativen Intensitätsspektren I3.
- Zur Darstellung **Relative Intensität I3** wechseln.
- Mit  das Spektrum abspeichern.
- Glühlampe gegen Energiesparlampe austauschen; darauf achten, dass die Energiesparlampe möglichst an der gleichen Position wie die Glühlampe steht.
- Spektrum der Energiesparlampe messen und abspeichern. Gegebenenfalls zusätzlich Belichtungszeit reduzieren.

## Auswertung

In der Darstellung **Intensität I1** zeigt die Glühlampe ein kontinuierliches Spektrum mit einem Maximum bei etwa 620 nm. Die Lage des Maximums entspricht damit nicht der Position, die sich mit  $T = 2680 \text{ K}$  aus dem wienischen Verschiebungsgesetz ergibt:  $\lambda_{\text{max}} = 1082 \text{ nm}$ . Diese Abweichung wird dadurch bewirkt, dass die Spektrometerempfindlichkeit (graue Kurve) nicht für alle Wellenlängen konstant ist.

Bestimmt man mittels der Temperatur der Glühwendel die Spektrometerempfindlichkeit, können die gemessenen Spektren damit korrigiert werden. In der Darstellung **Spektrometerempfindlichkeit** ist die gemessene Spektrometerempfindlichkeit zu sehen. Sie besitzt ihr Maximum bei 520 nm und fällt zu den Bereichsgrenzen hin deutlich ab.

In der korrigierten Darstellung **Relative Intensität I3** zeigt das Spektrum der Glühlampe die erwartete Verteilung. Die Intensität nimmt für zunehmende Wellenlängen zu, ein Maximum wird innerhalb der untersuchten Wellenlängen nicht erreicht. Die Glühlampe emittiert damit überwiegend im Infrarotbereich.

Das Spektrum der Energiesparlampe unterscheidet sich deutlich vom Glühlampenspektrum. Im blauen und UV-Bereich sind mehrere scharfe Linien zu erkennen. Im Bereich zwischen 470 nm und 720 nm sind mehrere breite Banden zu erkennen. Im infraroten Spektralbereich ist fast keine Emission vorhanden. Die scharfen blauen Linien sind Teil des Quecksilberspektrums mit Linien bei 365 nm, 404 nm, 436 nm, 546 nm, 577 nm und 579 nm. Im Beispiel sind diese Wellenlängen mit senkrechten Linien markiert. Die zusätzlichen Banden zwischen 470 nm und 720 nm werden von der Leuchtschicht emittiert. Die Emission erfolgt also überwiegend im sichtbaren Spektralbereich.

Die Gesamtintensität in einem bestimmten Spektralbereich kann durch Integration bestimmt werden: [Integral berechnen](#) → [Fläche zur x-Achse](#). Im Beispiel wurde dies für beide Spektren im Wellenlängenbereich 500 – 630 nm durchgeführt. Hier besitzt das Auge die höchste Empfindlichkeit. Es ergeben sich für die Glühlampe  $3479\% \cdot \text{nm}$  und für die Energiesparlampe  $2928\% \cdot \text{nm}$ . Die Intensität der beiden Lampen ist also vergleichbar trotz der unterschiedlichen elektrischen Leistung von 60 W bzw. 11 W.

## Hinweise

Typische Temperaturen von Glühlampen bei angegebener Nennleistung:

Glühlampe 40 W: 2200 K  
 Glühlampe 60 W: 2680 K  
 Glühlampe 100 W: 2800 K  
 Glühlampe 200 W: 3000 K  
 Halogenlampe: 3000 K

In der Darstellung **Relative Intensität** werden nur Bereiche ausgewertet, in denen die Intensität der Kurve für die Spektrometerempfindlichkeit mindestens 2 % beträgt.

Zur Reduzierung der Rauschens können mit  mehrere Einzelspektren gemittelt werden (auch Offset und Referenz). Alternativ kann in den Einstellungen [Glättung auf 1 nm Auflösung](#) eingestellt werden.

## Absorptionsspektrum eines Lichtwellenleiters



### Versuchsbeschreibung

Das Innere eines Lichtwellenleiters (Lichtleitfaser) besteht je nach Typ aus Quarzglas oder transparenten Kunststoffen. Speziell in Kunststoffen (z.B. PMMA, PolyMethylMethAcrylat) kommt es zu wellenlängenabhängigen Absorptionen. Aufgrund der Länge eines Lichtwellenleiters spielen bereits kleine Absorptionsquerschnitte eine Rolle und es ergeben sich deutlich sichtbare Banden hoher Absorption im Spektrum und optische Fenster, in denen die Faser das Licht dämpfungsarm weiterleitet.





### Benötigte Geräte

1	Kompakt-Spektrometer, Physik	467 251
1	Faserhalter	460 251
1	Lampenfassung, E 27	451 17
1	Glühlampe, E 27, 60 W	505 301
2	Socket	300 11
1	Lichtwellenleiter, Satz 2	579 44
1	PC mit Windows 2000/XP/Vista/7/8	

### Versuchsaufbau (siehe Bild)

Glühlampe in Lampenfassung befestigen. Lichtleitfaser des Spektrometers im Faserhalter in etwa 1 m Abstand zur Glühlampe aufstellen. Lichtwellenleiter bereitlegen.

### Versuchsdurchführung

- Mit  neue Messung beginnen.
- Darstellung **Intensität I1** wählen.
- Mit  die Messung starten.
- Glühlampe einschalten.
- Ausrichtung der Lichtleitfaser anpassen, so dass die Intensität maximal wird. Gegebenenfalls Integrationszeit direkt oder mit  oder  so anpassen, dass die maximale Intensität zwischen 75 % und 100 % liegt. Integrationszeit im Weiteren nicht mehr verändern.
- Lampe zur Aufnahme des Untergrundspektrums wieder ausschalten.
- Darstellung **Offset I0** öffnen.
- Das angezeigte Spektrum wird bei weiteren Messungen als Untergrundspektrum abgezogen.
- Zur Darstellung **Referenz I2** wechseln.
- Glühlampe wieder einschalten.
- Das angezeigte Spektrum dient für die folgenden Messung als Referenzspektrum.
- Zur Darstellung **Transmission T** wechseln. Es ergibt sich eine durchgehende Linie bei 100 %.

- Die Lichtleitfaser des Spektrometers von der Lampe entfernen, ein Stück Lichtwellenleiter (PMMA) von Hand direkt vor die vorhandene Lichtleitfaser halten und das andere Ende in Richtung der Lampe halten. Wenn nötig den Abstand verändern um unterschiedliche Öffnungswinkel der Fasern auszugleichen.
- Messung mit ■ stoppen, was eventuell ein dritte Hand erfordert.
- Für die Darstellung **Transmission T** wird das Verhältnis des Spektrums mit Lichtwellenleiter(PMMA) + Lichtleitfaser (Quarz) hintereinander zur Referenzkurve nur mit der Lichtleitfaser berechnet und angezeigt.
- Für die Darstellung **Extinktion E** wird die Extinktion (optische Dichte) berechnet und angezeigt.
- Mit ● kann das Transmissionsspektrum gleichzeitig für alle Darstellungen abgespeichert werden.

## Auswertung

Nach dem Einsetzen des Lichtwellenleiters aus Plastik (PMMA) nimmt die Transmission T aufgrund der Koppelverluste allgemein ab, es zeigen sich aber spezielle Absorptionsbanden, bei denen die Transmission einbricht und die Dämpfung in der Faser stark erhöht ist.

Angesichts der Absorptionsbanden kann man nun eine Auswahl an Lasern bzw. Leuchtdioden treffen, die mit möglichst geringer Dämpfung durch einen solchen Lichtwellenleiter strahlen können. Diese Bereiche ohne spezifische Absorption werden auch optische Fenster genannt. In der Praxis werden gerne rote LED bei 660 nm oder infrarote bei 950 nm verwendet.

Als weiterführenden Versuch kann man auch ein ca. 10 cm langes Stück des Lichtwellenleiters abschneiden, und wie oben untersuchen. In den Bereichen hoher Absorption lassen sich so weitere Details der Absorptionen bei 870 und 900 nm erkennen, da das kurze Faserstück dort noch nicht vollständig absorbiert.

In der Molekülphysik wird aus historischen Gründen häufig mit einer Energieskala in  $\text{cm}^{-1}$  gearbeitet. Die Messgröße auf der x-Achse kann unter [⚙ Einstellungen → Weitere Einstellungen](#) auf Wellenzahl ( $1/\text{cm}$ ) umgeschaltet werden.

Hauptsächlich verantwortlich für die Absorptionen sind vor allem die C-H Bindungen im Material. Die Vibrationschwingung des Wasserstoffs in der C-H Bindung liegt weit im infraroten (ca.  $3,3 \mu\text{m}$  oder  $3000 \text{ cm}^{-1}$  in Methan), aber es können auch Obertöne angeregt werden, die im sichtbaren und nah-infraroten liegen. Da es sich bei der Bindung um einen anharmonischen Oszillator handelt, haben die Obertöne nicht ganz exakt ein Vielfaches der Grundfrequenz, sondern sind etwas weniger energiereich, da im Mittel weicher gebunden.

Die hochenergetischste sichtbare Absorption bei  $625 \text{ nm}$  ( $16\,000 \text{ cm}^{-1}$ ) ist der 6. Oberton der C-H Bindung, die weiteren liegen dann bei  $735 \text{ nm}$  ( $13\,700 \text{ cm}^{-1}$ ) für den 5. Oberton und  $890 \text{ nm}$  ( $11\,200 \text{ cm}^{-1}$ ) für den 4. Oberton.

Weitere Absorptionsbanden stammen aus den Obertönen der O-H Bindung von eindiffundiertem Wasser.

## Hinweise

Je nach Typ des Lichtwellenleiters können sich die Absorptionsspektren leicht unterscheiden.

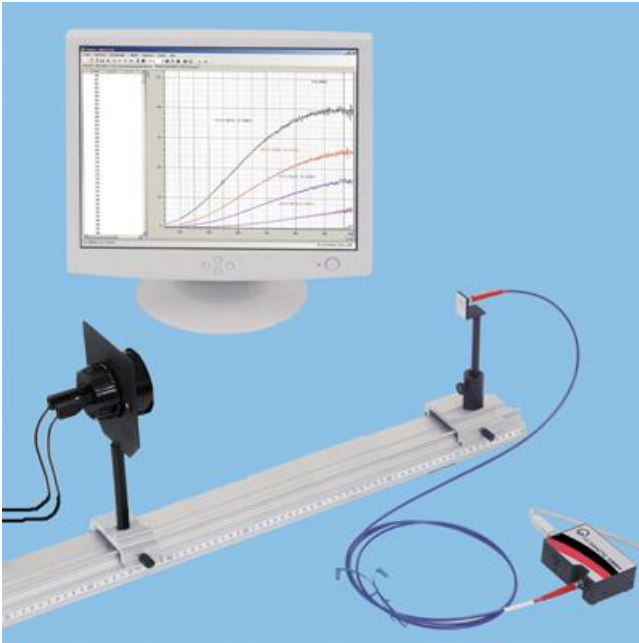
Für eine präzise Messung der Dämpfung des Lichtwellenleiters ohne Koppelverluste ist ein anderes Vorgehen notwendig: Der PMMA Lichtwellenleiter wird mit zugehörigen F-SMA Adaptern versehen und mit dem Faserhalter und dem Spektrometer verschraubt. Man nimmt dann das Referenzspektrum mit einem kurzen Stück Faser (10 cm) auf und vergleicht es mit einem langen Stück Faser, so dass die Dämpfung nur durch den Längenunterschied entsteht.

Über [⚙ Einstellungen → Weitere Einstellungen](#) kann die Darstellung **Transmission/Dämpfung** ausgewählt werden. Damit wird die für die technische Praxis relevante Dämpfung der Faser in dB dargestellt.

In den Darstellungen **Transmission**, **Extinktion** und **Dämpfung** werden nur Bereiche ausgewertet, in denen die Intensität der Referenzkurve mindestens 2 % beträgt.

Zur Reduzierung der Rauschens können mit  $\Sigma$  mehrere Einzelspektren gemittelt werden (auch Offset und Referenz). Alternativ kann in den Einstellungen [Glättung auf 1 nm Auflösung](#) eingestellt werden.

## Untersuchung des wienschen Verschiebungsgesetzes



### Versuchsbeschreibung

In einer Glühlampe wird ein elektrischer Leiter durch elektrischen Strom aufgeheizt und dadurch zum Leuchten angeregt. Das emittierte Spektrum ist kontinuierlich und kann mit dem planckschen Strahlungsgesetz beschrieben werden. Das Strahlungsmaximum der Strahlung verschiebt sich mit steigender Temperatur  $T$  gemäß dem wienschen Verschiebungsgesetz

$$\lambda_{\max} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} / T$$

zu kleineren Wellenlängen hin; zugleich erhöht sich der Maximalwert der Strahlung. Bei den in normalen Glühlampen erreichbaren Temperaturen von etwa 2300 bis 2900 K liegt das Strahlungsmaximum im infraroten Spektralbereich. Halogenlampen erreichen eine etwas höhere Betriebstemperatur von ca. 3000 K.

Im Versuch werden die Spektren einer Halogenlampe bei unterschiedlichen Leistungen aufgenommen. Durch die Angabe der Farbtemperatur bei der Nennspannung 12 V kann die Wellenlängenabhängigkeit der Spektrometerempfindlichkeit bestimmt und der Intensitätsverlauf der Spektren korrigiert dargestellt werden. Anschließend wird die an die Halogenlampe angelegte Spannung schrittweise reduziert. Durch Anpassen einer geeigneten Fitfunktion wird jeweils die Farbtemperatur der Lampe bestimmt.

### Benötigte Geräte

1	Kompakt-Spektrometer, Physik	467 251
1	Faserhalter	460 251
1	Halogenleuchte, z. B.	459 032
1	Netzgerät, z. B.	521 485
1	Paar Kabel, 50 cm, schwarz	501 451
1	Optische Bank, S1-Profil, 1 m	460 310
1	Optikreiter mit Klemmsäule	460 313
1	Optikreiter mit Muffe	460 311
1	PC mit Windows 2000/XP/Vista/7/8	






### Versuchsaufbau (siehe Bild)

Versuch gemäß Bild aufbauen.

### Versuchsdurchführung

- Mit  neue Messung beginnen.
- Darstellung **Intensität I1** wählen.
- Mit  die Messung starten.
- Halogenlampe einschalten, Spannung 12 V einstellen.



- Integrationszeit direkt oder mit  oder  so anpassen, dass die maximale Intensität zwischen 75 % und 100 % liegt. Gegebenenfalls Ausrichtung der Lichtleitfaser anpassen. Anschließend Lampe und Lichtleitfaser nicht mehr bewegen.
- Lampe zur Aufnahme des Untergrundspektrums wieder ausschalten.
- Darstellung **Offset I0** öffnen.
- Das angezeigte Spektrum wird bei weiteren Messungen als Untergrundspektrum abgezogen.
- Bei  [Einstellungen](#) → [Weitere Einstellungen](#) die Darstellung **Relative Intensität** auswählen und die Farbtemperatur 3000 K eintragen.
- Zur (jetzt neu verfügbaren) Darstellung **Spektrometerempfindlichkeit I2** wechseln.
- Halogenlampe wieder einschalten, Spannung 12 V beibehalten.
- Das angezeigte Spektrum dient als Referenz für die relativen Intensitätsspektren I3.
- Zur Darstellung **Relative Intensität I3** wechseln.
- Mit  das Spektrum abspeichern.
- Schrittweise die an die Halogenlampe angelegte Spannung reduzieren und jeweils ein Spektrum mit  abspeichern.

## Auswertung

In der **Darstellung I1** zeigt die Halogenlampe ein kontinuierliches Spektrum mit einem Maximum bei etwa 620 nm. Die Lage des Maximums entspricht damit nicht der Position, die sich mit  $T = 3000\text{ K}$  aus dem wienschen Verschiebungsgesetz ergibt:  $\lambda_{\max} = 967\text{ nm}$ . Diese Abweichung wird dadurch bewirkt, dass die Spektrometerempfindlichkeit (graue Kurve) nicht für alle Wellenlängen konstant ist.

Bestimmt man mittels der Temperatur der Glühwendel die Spektrometerempfindlichkeit, können die gemessenen Spektren damit korrigiert werden. In der Darstellung **Spektrometerempfindlichkeit** ist die gemessene Spektrometerempfindlichkeit zu sehen. Sie besitzt ihr Maximum bei 520 nm und fällt zu den Bereichsgrenzen hin deutlich ab.

In der korrigierten Darstellung **Relative Intensität I3** zeigt das Spektrum der Glühlampe die erwartete Verteilung. Die Intensität nimmt für zunehmende Wellenlängen zu, das Maximum liegt bei ca. 970 nm. Die Halogenlampe emittiert damit überwiegend im Infrarotbereich.

Ein Vergleich der Spektren bei unterschiedlichen angelegten Spannungen zeigt, dass für abnehmende Spannung und damit abnehmende Temperatur die Intensität der Spektren abnimmt. Zusätzlich verschiebt sich das Maximum der spektralen Verteilung aus dem Messbereich. Durch [Diagramm](#) → [Anpassung durchführen](#) → [Freie Anpassung](#) ist es möglich, eine plancksche Strahlungskurve an die Spektren anzupassen. In der Auswahlbox für die Formel  $f(x,A,B,C,D)$  sind die Strahlungsgesetze für die Darstellung gegen die Wellenlänge (Formel mit  $x^5$ ) und gegen die Energie (Formel mit  $x^3$ ) enthalten. Man erhält aus der Anpassung Werte für die maximale Amplitude (Parameter A, Startwert 100) und die Farbtemperatur in K (Parameter B, Startwert 3000). Aus dem wienschen Verschiebungsgesetz  $\lambda_{\max} = 2,9 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K} / T$  kann zusätzlich die Wellenlänge mit der maximalen Amplitude berechnet werden. In der Beispielmessung ergeben sich folgende Ergebnisse:

U / V	A / %	B / K	$\lambda_{\max} / \text{nm}$
12	99,3	2994	970
10	64,9	2750	1055
8	42,8	2528	1147
6	20,7	2121	1367

## Hinweise

Werden die Spektren statt über der Wellenlänge über der Energie dargestellt, so muss als Fitfunktion die Formel mit  $x^3$  gewählt werden. Achtung! Die Fits sind nur für die jeweils gewählte Darstellung (Wellenlänge oder Energie) gültig. Wird anschließend die Darstellung umgeschaltet, muss erneut die dann passende Fitfunktion angepasst werden.

Typische Temperaturen von Glühlampen bei angegebener Nennleistung:

Glühlampe 40 W: 2200 K  
 Glühlampe 60 W: 2680 K  
 Glühlampe 100 W: 2800 K  
 Glühlampe 200 W: 3000 K  
 Halogenlampe: 3000 K

In der Darstellung **Relative Intensität** werden nur Bereiche ausgewertet, in denen die Intensität der Messkurve für die Spektrometerempfindlichkeit mindestens 2 % beträgt.

Zur Reduzierung der Rauschens können mit  mehrere Einzelspektren gemittelt werden (auch Offset und Referenz). Alternativ kann in den Einstellungen [Glättung auf 1 nm Auflösung](#) eingestellt werden.

## Extinktionsspektrum einer Kristallviolettlösung



### Gefahrenhinweis

Kristallviolett ist gesundheitsschädlich und umweltgefährlich. Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen. Nicht in die Umwelt gelangen lassen.

### Versuchsbeschreibung

Im Versuch wird das Extinktionsspektrum einer Kristallviolettlösung aufgenommen. Der Transmissionskoeffizient und die Extinktion (optische Dichte) werden berechnet. Die Wellenlänge im Absorptionsmaximum und die zugehörige mittlere Extinktion werden bestimmt.

### Benötigte Geräte

1	Kompakt-Spektrometer, komplett	467 252
2	Rechteckküvetten, z. B. aus	664 474
1	Becherglas, 100 ml, hohe Form	664 137
1	Messkolben, 1000 ml	665 796
1	Spatel, z. B.	604 5671
1	Uhrglas, z. B. 80 mm	664 154
1	Waage, Auflösung min. 0,0001 g, z. B.	OHPA64
1	PC mit Windows 2000/XP/Vista/7/8	

### Benötigte Chemikalien

1	Kristallviolett, z. B. 1 g dest. Wasser	672 8560
---	--	----------

### Benötigte Lösung

Kristallviolett-Lösung ansetzen:  $0,5 \cdot 10^{-5}$  mol/l




Auf das auf der Waage liegende Uhrglas werden genau 2,0 mg (Molmasse von Kristallviolett: 407,99 g/mol) eingewogen und mit destilliertem Wasser in den 1000 ml-Kolben gespült. Uhrglas, Spatel und Trichter werden anschließend gereinigt.

### Versuchsaufbau (siehe Bild)

Zu Beginn keine Küvette in den Küvettenhalter einsetzen. Küvetten nicht im optischen Teil berühren, sonst gut reinigen.



## Versuchsdurchführung


- Je eine Küvette zu etwa  $\frac{3}{4}$  mit der Kristallviolettlösung (Probenlösung) und mit destilliertem Wasser (Referenzlösung) füllen.
- Mit  neue Messung beginnen.
- Darstellung **Intensität I1** wählen.
- Mit ▶ die Messung starten.
- Lampe des Küvettenhalters mit  einschalten.
- Integrationszeit direkt oder mit  oder  so anpassen, dass die maximale Intensität zwischen 75 % und 100 % liegt. Integrationszeit im Weiteren nicht mehr verändern.
- Schwarzen Quader zur Aufnahme des Untergrundspektrums in den Küvettenhalter einsetzen.
- Darstellung **Offset I0** öffnen.
- Das angezeigte Spektrum wird bei weiteren Messungen als Untergrundspektrum abgezogen.
- Zur Darstellung **Referenz I2** wechseln.
- Schwarzen Quader wieder entfernen und Küvette mit Referenzlösung in den Küvettenhalter einsetzen.
- Das angezeigte Spektrum dient für die folgenden Messungen als Referenzspektrum.
- Zur Darstellung **Intensität I1**, **Transmission T** oder **Extinktion E** wechseln.
- Küvette mit Kristallviolettlösung einsetzen.
- In der Darstellung **Intensität I1** ist das Spektrum nach Durchgang des Lichts durch die Kristallviolettlösung zu sehen. In Grau wird zusätzlich das Referenzspektrum angezeigt.
- In der Darstellung **Transmission T** wird das Verhältnis des Spektrums der Kristallviolettlösung zur Referenzkurve berechnet und angezeigt.
- In der Darstellung **Extinktion E** wird die Extinktion (optische Dichte) berechnet und angezeigt.

## Auswertung

Die Kristallviolettlösung absorbiert im gelb-grünen Spektralbereich. Blaue und rote Spektralanteile werden transmittiert. Dies verursacht den violetten Farbton der Lösung. Zur Bestimmung der Wellenlänge des Absorptionsmaximums kann eine senkrechte Linie eingezeichnet und die Wellenlänge abgelesen werden. Das Absorptionsmaximum liegt bei 580 nm. Zur Bestimmung der mittleren Extinktion wird mit [Bereich für Kinetik definieren](#) ein Spektralbereich, z. B. im Absorptionsmaximum, markiert. Im zugehörigen Extinktion-Anzeigeeinstrument (z. B.  $E_{580}$ ) kann nun die mittlere Extinktion abgelesen werden, die für weitere Auswertungen (z. B. Kalibrierkurve, Kinetik) genutzt werden kann.

## Hinweise

In den Darstellungen **Transmission** und **Extinktion** werden nur Bereiche ausgewertet, in denen die Intensität der Referenzkurve mindestens 2 % beträgt.

Zur Reduzierung der Rauschens können mit  mehrere Einzelspektren gemittelt werden (auch Offset und Referenz). Alternativ kann in den Einstellungen [Glättung auf 1 nm Auflösung](#) eingestellt werden.

## Entfärben von Kristallviolett mit Natronlauge



### Gefahrenhinweis

Kristallviolett ist gesundheitsschädlich und umweltgefährlich. Schutzhandschuhe und Schutzbrille tragen. Nicht in die Umwelt gelangen lassen.

Natronlauge wirkt ätzend! Schutzbrille tragen.

### Versuchsbeschreibung

Kristallviolett ist ein Tri-Phenyl-Methan-Farbstoff. Es löst sich in Wasser und anderen polaren Lösungsmitteln mit intensiv violetter Farbe. Zur Demonstration der Prinzipien der chemischen Reaktionskinetik ist Kristallviolett gut geeignet. Als ungesättigte Verbindung addiert Kristallviolett  $\text{OH}^-$ -Ionen; dabei wird die Lösung entfärbt. Es bildet sich eine Carbinolbase, wobei die für die Farbigkeit von Kristallviolett verantwortliche großflächige Mesomerie des Moleküls unterbrochen wird.

Die Geschwindigkeit dieser Entfärbungsreaktion kann durch die Konzentration der  $\text{OH}^-$ -Ionen gesteuert werden. Da die  $\text{OH}^-$ -Ionen in der Lösung (ca.  $10^{-3}$  mol/l) im deutlichen Überschuss zum Kristallviolett ( $5 \cdot 10^{-6}$  mol/l) vorliegen, ändert sich während der Reaktion die Konzentration  $[\text{OH}^-]$  nur unwesentlich, aus der Reaktion 2. Ordnung wird im Experiment damit eine Reaktion pseudo-erster Ordnung.

Im Versuch wird zunächst das Extinktionsspektrum einer Kristallviolettlösung aufgenommen. Der Transmissionskoeffizient und die Extinktion (optische Dichte) werden wellenlängenabhängig berechnet und angezeigt. Die Wellenlänge des Absorptionsmaximums und die zugehörige mittlere Extinktion werden bestimmt. Die lineare Abhängigkeit der Extinktion von der Konzentration (Lambert-Beersches Gesetz) wird durch die Messung einer Konzentrationsreihe gezeigt, und gleichzeitig der Kalibrierfaktor bestimmt. Für die Untersuchung der Reaktionskinetik bei der Entfärbung von Kristallviolett wird zum Start ein Tropfen konzentrierter Natronlauge in die Küvette gegeben und die Extinktion im Absorptionsmaximum gegen die Zeit gemessen. Anhand der zuvor aufgenommenen Kalibration wird die Änderung der Konzentration angezeigt und ausgewertet.

### Benötigte Geräte

1	Kompakt-Spektrometer, komplett	467 252
5	Rechteckküvetten, z. B. aus	664 474
1	Becherglas, 100 ml, hohe Form	664 137
1	Messkolben, 1000 ml	665 796
3	Messkolben, 100 ml	665 793
1	Vollpipette, 25 ml	665 976
1	Pipettierball	666 003
1	Spatel, z. B.	604 5671
1	Uhrglas, z. B. 80 mm	664 154
1	Waage, Auflösung min. 0,0001 g, z. B.	OHPA64
1	PC mit Windows 2000/XP/Vista/7/8	

**Benötigte Chemikalien**

- 1 Kristallviolett, z. B. 1 g 672 8560  
dest. Wasser

**Benötigte Lösung**

Kristallviolett-Lösung ansetzen:  $0,5 \cdot 10^{-5}$  mol/l

Auf das auf der Waage liegende Uhrglas werden genau 2,0 mg (Molmasse Kristallviolett: 407,99 g/mol) eingewogen und mit destilliertem Wasser in den 1000 ml-Kolben gespült. Uhrglas, Spatel und Trichter werden anschließend gereinigt.






Mit der Pipette werden 75 ml ( $0,375 \cdot 10^{-5}$  mol/l), 50 ml ( $0,25 \cdot 10^{-5}$  mol/l) und 25 ml ( $0,125 \cdot 10^{-5}$  mol/l) der Kristallviolettlösung  $0,5 \cdot 10^{-5}$  mol/l in 100 ml-Messkolben gegeben und mit destilliertem Wasser bis zum Eichstrich aufgefüllt.

**Versuchsaufbau (siehe Bild)**

Zu Beginn keine Küvette in den Küvettenhalter einsetzen. Küvetten nicht im optischen Teil berühren, sonst gut reinigen.

**Versuchsdurchführung**

Messung des Extinktionsspektrums

- Je eine Küvette zu etwa  $\frac{3}{4}$  mit den verschiedenen Kristallviolettlösungen und mit destilliertem Wasser (Referenzlösung) füllen.
- Mit  neue Messung beginnen.
- Darstellung **Intensität I1** wählen.
- Mit  die Messung starten.
- Lampe des Küvettenhalters mit  einschalten.
- Integrationszeit direkt oder mit  oder  so anpassen, dass die maximale Intensität zwischen 75 % und 100 % liegt. Integrationszeit im Weiteren nicht mehr verändern.
- Schwarzen Quader zur Aufnahme des Untergrundspektrums in den Küvettenhalter einsetzen.
- Darstellung **Offset I0** öffnen.
- Das angezeigte Spektrum wird bei weiteren Messungen als Untergrundspektrum abgezogen.
- Zur Darstellung **Referenz I2** wechseln.
- Schwarzen Quader entfernen und Küvette mit Referenzlösung in den Küvettenhalter einsetzen.
- Das angezeigte Spektrum dient für die folgenden Messungen als Referenzspektrum.
- In der Darstellung **Transmission T** beträgt die Transmission der Referenzlösung im ganzen Spektralbereich 100%.
- Zur Darstellung **Extinktion E** wechseln. Die Extinktion E der Referenzlösung beträgt im ganzen Spektralbereich 0.
- Küvette mit Kristallviolettlösung (Konzentration  $0,5 \cdot 10^{-5}$  mol/l) einsetzen.
- Zur Bestimmung der mittleren Extinktion mit [Bereich für Kinetik markieren](#) einen ca. 10 - 15 nm breiten Spektralbereich im Absorptionsmaximum markieren. Im Extinktion-Anzeigeelement (z. B. E<sub>580</sub>) kann nun die mittlere Extinktion abgelesen werden.

Aufnahme der Kalibrierkurve

- Zur Darstellung **Kalibrierung** wechseln.
- Küvette mit Referenzlösung in den Küvettenhalter einsetzen.
- Über die Tastatur Konzentration  $c = 0$  mol/l nach einem Mausklick an die entsprechende Stelle in der Tabelle eintragen.
- Zugehörigen Wert für die Extinktion in die Tabelle eintragen oder alternativ auch einfach mit der Maus aus der Digitalanzeige des Anzeigeelements in die Tabelle ziehen (Drag & Drop).
- Für die Kristallviolettlösungen nacheinander für zunehmende Konzentration jeweils die Extinktion bestimmen und mit der zugehörigen Konzentration in die Tabelle eintragen.
- Mit [Anpassung durchführen → Ursprungsgerade](#) eine Ursprungsgerade durch die Messwerte legen. Das Ergebnis der Auswertung wird für die Interpolation Konzentration verwendet, die in einem neuen Anzeigeelement  $c$  angezeigt werden kann.

Entfärben von Kristallviolett

- Die Küvette mit der Kristallviolettlösung (Konzentration  $0,5 \cdot 10^{-5}$  mol/l) im Küvettenhalter eingesetzt lassen.
- Zur Darstellung **Kinetik** wechseln.

- Den Tool-Button des Anzeigeinstruments c mit der Maus ins Diagramm ziehen (Drag & Drop).
- Möglichst gleichzeitig mit ► des Kinetik-Menüs die Aufzeichnung des zeitlichen Verlaufs der Konzentration c starten und einen Tropfen Natronlauge zur Kristallviolettlösung hinzufügen.
- Zeitlichen Verlauf der Konzentration beobachten (je nach zugegebener NaOH Menge einige Minuten bis 15 Minuten).
- Zur weiteren Auswertung mit ■ des Kinetik-Menüs die Aufzeichnung stoppen.

### Auswertung

Die Kristallviolettlösung absorbiert im gelb-grünen Spektralbereich. Blaue und rote Spektralanteile werden transmittiert. Dies verursacht den violetten Farbton der Lösung. Das Absorptionsmaximum liegt bei 580 nm.

Die Extinktion der Lösungen nimmt für zunehmende Konzentration im untersuchten Bereich linear zu. Das Lambert-Beersche Gesetz ist somit erfüllt. Im Beispiel ergibt sich als Linearitätsfaktor für 1,0 cm optische Weglänge in der Küvette

$$A = 3,817 \text{ l}/10^{-5} \text{ mol.}$$

Wird zur Kristallviolettlösung Natronlauge hinzugefügt, so nimmt die Konzentration des Kristallvioletts und damit die Extinktion im Laufe der Zeit ab. Die Abnahme erfolgt als Reaktion pseudo-erster Ordnung exponentiell. Dies kann durch die Anpassung einer Exponentialfunktion ([Anpassung durchführen → Exponentialfunktion](#)) an die Messdaten gezeigt werden. Im Beispiel ergibt sich für die Zugabe eines Tropfens 1 molarer Natronlauge die Zeitkonstante 365 s.

### Hinweise

Die Entfärbungsreaktion ist reversibel: Durch Ansäuern der Carbinollösung bildet sich der Farbstoff zurück.

In den Darstellungen **Transmission** und **Extinktion** werden nur Bereiche ausgewertet, in denen die Intensität der Referenzkurve mindestens 2 % beträgt.

Zur Reduzierung der Rauschens können mit  $\Sigma$  mehrere Einzelspektren gemittelt werden (auch Offset und Referenz). Alternativ kann in den Einstellungen [Glättung auf 1 nm Auflösung](#) eingestellt werden.

## Extinktionsspektren von Lebensmittelfarbstoffen



### Versuchsbeschreibung

Farbstoffe sind Bestandteil vieler Lebensmittel. Aus Süßwaren mit Farbüberzug können die Farbstoffe leicht isoliert und untersucht werden. Farbstoffe bestehen aus konjugierten  $\pi$ -Elektronensystemen (Chromophoren), die im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Wellenspektrums Strahlung absorbieren. Die nicht absorbierte Strahlung wird reflektiert und wird als Komplementärfarbe im Auge sichtbar. Man unterscheidet verschiedene chromophore Gruppen:

- $-\text{HC}=\text{CH}-$  Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindung (Alkene),
- $-\text{C}=\text{O}$  Carbonyl-Gruppen, Carbonyl-Farbstoffe
- $-\text{N}=\text{O}$  Nitroso-Gruppe
- $-\text{N}=\text{N}-$  Azo-Gruppe, Azo-Farbstoffe

Zur Farbvertiefung verwendet man sogenannte auxochrome Gruppen, z. B.  $-\text{NR}_2$ ,  $-\text{OH}$ ,  $-\text{OR}$ , Halogenide, die mit den chromophoren Gruppen mesomer Wechselwirken (Ausdehnung des delokalisierten  $\pi$ -Elektronensystems).

Im Versuch wird das Extinktionsspektrum verschiedener Farbstofflösungen aufgenommen. Der Transmissionskoeffizient und die Extinktion (optische Dichte) werden berechnet. Die Wellenlänge im Absorptionsmaximum und die zugehörige mittlere Extinktion werden bestimmt und mit dem Farbeindruck der jeweiligen Lösung verglichen.

### Benötigte Geräte

1	Kompakt-Spektrometer, komplett	467 252
2	Rechteckküvetten, z. B. aus	664 474
1	Becherglas, 100 ml, hohe Form	664 137
1	Pinzette, z. B.	667 027
1	PC mit Windows 2000/XP/Vista/7/8	

### Zusätzlich erforderlich

Süßwaren mit Farbüberzug, z. B. Zuckerperlen  
dest. Wasser




### Benötigte Lösung

Mehrere gleichfarbige Perlen werden mit 20 ml dest. Wasser in einen Becherglas bedeckt. Die Farbstoffe werden unter Schwenken gelöst und die entfärbten Reste sofort entfernt. Die weiße Zuckerschicht soll dabei nicht mit abgelöst werden!

## Versuchsaufbau (siehe Bild)

Zu Beginn keine Küvette in den Küvettenhalter einsetzen. Küvetten nicht im optischen Teil berühren, sonst gut reinigen.

## Versuchsdurchführung

- Je eine Küvette zu etwa  $\frac{3}{4}$  mit der Farbstofflösung (Probenlösung) und mit destilliertem Wasser (Referenzlösung) füllen.
- Mit  neue Messung beginnen.
- Darstellung **Intensität I1** wählen.
- Mit  die Messung starten.
- Lampe des Küvettenhalters mit  einschalten.
- Integrationszeit direkt oder mit  oder  so anpassen, dass die maximale Intensität zwischen 75 % und 100 % liegt. Integrationszeit im Weiteren nicht mehr verändern.
- Schwarzen Quader zur Aufnahme des Untergrundspektrums in den Küvettenhalter einsetzen.
- Darstellung **Offset I0** öffnen.
- Das angezeigte Spektrum wird bei weiteren Messungen als Untergrundspektrum abgezogen.
- Zur Darstellung **Referenz I2** wechseln.
- Schwarzen Quader entfernen und Küvette mit Referenzlösung in den Küvettenhalter einsetzen.
- Das angezeigte Spektrum dient für die folgenden Messungen als Referenzspektrum.
- Zur Darstellung **Intensität I1**, **Transmission T** oder **Extinktion E** wechseln.
- Küvette mit Farbstofflösung einsetzen.
- In der Darstellung **Intensität I1** ist das Spektrum nach Durchgang des Lichts durch die Farbstofflösung zu sehen. In Grau wird zusätzlich das Referenzspektrum angezeigt.
- In der Darstellung **Transmission T** wird das Verhältnis des Spektrums der Farbstofflösung zur Referenzkurve berechnet und angezeigt.
- In der Darstellung **Extinktion E** wird die Extinktion (optische Dichte) berechnet und angezeigt.


## Auswertung

Im Beispiel wurden gelbe, orange, rote, blaue und grüne Zuckerperlen untersucht. Auf der Verpackung waren als Farbstoffe E104 (gelb), E110 (orange), E124 (rot) und E131 (blau) angegeben. Alle Farbstoffe zeigen Transmission in einem weiten und Absorption (Extinktion) in einem relativ eng begrenzten Spektralbereich. So liegt z.B. für den gelben Farbstoff die Transmission für den kompletten Wellenlängenbereich von 470 – 900 nm über 85 %, d.h. im grünen, gelben und roten Spektralbereich. Zum gelben Farbeindruck trägt also nicht nur der gelbe Spektralanteil, sondern zusätzlich die Überlagerung von grünem und rotem Spektralanteil bei. Absorbiert wird nur zwischen 390 – 440 nm, d. h. im blauen Spektralbereich.

Der Farbüberzug der grünen Zuckerperlen enthält im Gegensatz zu den anderen Farben keinen speziellen grünen Farbstoff. Das zugehörige Spektrum zeigt, dass eine Mischung aus gelbem und blauem Farbstoff verwendet wird.

## Hinweise

In den Darstellungen **Transmission** und **Extinktion** werden nur Bereiche ausgewertet, in denen die Intensität der Referenzkurve mindestens 2 % beträgt.

Zur Reduzierung der Rauschens können mit  mehrere Einzelspektren gemittelt werden (auch Offset und Referenz). Alternativ kann in den Einstellungen [Glättung auf 1 nm Auflösung](#) eingestellt werden.

## Absorption/Reflektion von UV-Licht durch Sonnenschutzmittel



### Versuchsbeschreibung

Sonnenschutzmittel werden auf die Haut aufgetragen, um die schädlichen Wirkungen der Sonnenstrahlung (Hautrötung, Blasenbildung, Hautkrebs, etc.) zu mindern. Die Schädigung entsteht durch Absorption von UV-Licht. Sonnenschutzmittel sollen daher den Anteil der Sonnenstrahlung sowohl im UV-A-Bereich (320 nm – 380 nm) als auch im UV-B-Bereich (280 nm – 320 nm) reduzieren. Im UV-C-Bereich (100 nm – 280 nm) wird Sonnenstrahlung i. A. durch die Atmosphäre absorbiert (Ozonschicht); in diesem Bereich ist daher keine Schutzfunktion des Sonnenschutzmittels nötig. Im Versuch wird das Absorptionsspektrum eines Sonnenschutzmittels aufgenommen und die Absorption in verschiedenen Bereichen des Spektrums untersucht. Als Lichtquelle wird Sonnenstrahlung verwendet.





### Benötigte Geräte

1	Kompakt-UV-Spektrometer, Physik	467 261
1	Faserhalter	460 251
1	Sockel	300 11
1	UV-durchlässiger Träger, z. B. Quarzglasscheibe	309 07 090
1	Sonnenschutzmittel	
1	PC mit Windows 2000/XP/Vista/7/8	

### Versuchsaufbau (siehe Bild)

Faserhalter mit Lichtleitfaser zum Himmel ausrichten. Eine Hälfte der Quarzglasscheibe möglichst gleichmäßig und dünn mit Sonnenschutzmittel einstreichen.

### Versuchsdurchführung

- Mit  neue Messung beginnen.
- Darstellung **Intensität I1** wählen.
- Mit  die Messung starten.
- Integrationszeit direkt oder mit  oder  so anpassen, dass die maximale Intensität zwischen 75 % und 100 % liegt. Gegenenfalls Ausrichtung der Lichtleitfaser anpassen.
- Zur Messung des Untergrundspektrums die Eintrittsöffnung der Lichtleitfaser lichtdicht abdecken.
- Darstellung **Offset I0** öffnen.
- Das angezeigte Spektrum wird bei weiteren Messungen als Untergrundspektrum abgezogen.
- Zur Darstellung **Referenz I2** wechseln.
- Eintrittsöffnung der Lichtleitfaser wieder freigeben.
- Das angezeigte Spektrum dient für die folgenden Messung als Referenzspektrum.
- Zur Darstellung **Intensität I1** wechseln. In Grau wird zusätzlich das Referenzspektrum angezeigt.



- Quarzglasscheibe mit Sonnenschutzmittel direkt vor den Faserhalter halten und mit ● das Spektrum abspeichern.
- Zum Vergleich Spektrum der Quarzglasscheibe ohne Sonnenschutzmittel aufnehmen
- In der Darstellung **Transmission T** wird das Verhältnis der Spektren zur Referenzkurve berechnet und angezeigt.
- In der Darstellung **Extinktion E** wird die Extinktion (optische Dichte) berechnet und angezeigt.

### Auswertung

Das Referenzspektrum der Sonne zeigt einen breiten Spektralbereich beginnend bei ca. 310 nm, d. h. im UVB-Bereich. Im UVB-Bereich war die Intensität der Sonne sehr gering (Aufnahmezeitpunkt Anfang Dezember). Die Quarzscheibe ohne Sonnenschutzmittel zeigt kaum Absorption über den ganzen Spektralbereich und ist daher als Träger für das Sonnenschutzmittel geeignet.

Die Quarzscheibe mit Sonnenschutzmittel zeigt eine deutliche Abnahme der Intensität. In der Darstellung Transmission ist deutlich zu sehen, dass die Transmission vor allem im UVA-Bereich sehr gering ist. Im UVB-Bereich war die Intensität der Sonne für eine weitere Auswertung zu gering. Auch im sichtbaren Spektralbereich ist die Transmission reduziert. Das untersuchte Sonnenschutzmittel enthält Titandioxid, das Sonnenlicht in einem weiten Spektralbereich, auch im sichtbaren, reflektiert. Dies ist auch Ursache für die weiße Färbung des Sonnenschutzmittels.

### Hinweis

In den Darstellungen **Transmission** und **Extinktion** werden nur Bereiche ausgewertet, in denen die Intensität der Referenzkurve mindestens 2 % beträgt.



## Stichwortverzeichnis

### A

Anhängen 10  
Anpassung 14

### B

Beleuchtung 11

### D

Dämpfung 17  
Darstellung 11  
Differenz 14  
Drucken 10

### E

Emissionslinien 32  
Energiesparlampe 34  
Entfernung 14  
Exponentialanpassung 14  
Extinktion 17

### F

Farbtemperatur 11  
Filter 21  
Flammenfärbung 30  
Fluoreszenz 23  
Fraunhofer 28  
Freie Anpassung 14  
Freischaltcode 8

### G

Gasentladungslampen 32  
Gaußanpassung 14  
Geradenanpassung 14  
Glättung 11  
Glühlampe 34

### H

Hyperbelanpassung 14

### I

Integral 15  
Integrationszeit 11  
Intensität 17

### K

Kalibrierung 18  
Kinetik 14, 16  
Kompakt-Spektrometer 7

Koordinaten 13  
Kristallviolett 40, 42

### L

Lampe 11  
Lebensmittelfarbstoff 45  
Licht 11  
Lichtwellenleiter 36  
Lieferumfang 7  
Linienbreite 13  
Löschen 12, 15

### M

Markierung 13  
Mittelwert 11, 14

### O

Öffnen 10  
Offset 17

### P

Parabelanpassung 14  
Peakintegral 15  
Peakschwerpunkt 14  
PMMA 36

### R

Raster 13  
Referenz 17  
Reflexion 26  
Relative Intensität 19

### S

Schriftgröße 12, 13  
Senkrechte Linie 14  
Sonnenschutzmittel 47  
Speichern 10  
Spektrometerempfindlichkeit 19

### T

Technische Daten 7  
Text 13  
Transmission 17

### W

Waagerechte Linie 14  
Wien 38

**Z**  
Zeit 11

Zoom 13  
Zwischenablage 12, 15